



TUGAS AKHIR - TE 141599

DESAIN FILTER PASIF HARMONISA PADA SISTEM KELISTRIKAN CPA PETROCHINA TUBAN

**Mas Fatkhurrohman
NRP 2212 105 083**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TE 141599

DESIGN HARMONIC PASSIVE FILTER ON ELECTRICAL SYSTEM OF CPA PETROCHINA TUBAN

Mas Fatkhurrohman
NRP 2212 105 083

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**DESAIN FILTER PASIF HARMONISA PADA SISTEM
KELISTRIKAN CPA PETROCHINA TUBAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.

NIP. 19660318 199010 1 001

Ir. Sjamsjul Anam, MT.

NIP. 19630725 199003 1 002



ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Mas Fatkhurrohman
Judul Tugas Akhir : Desain Filter Pasif Harmonisa Pada Sistem
Kelistrikan Cpa Petrochina Tuban
Nama Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Nama Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban bergerak dalam bidang produksi minyak dan gas. Central Processing Area (CPA) merupakan suatu tempat untuk proses pemisahan fluida dan gas lebih lanjut. Dalam kegiatan produksinya, *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban menggunakan berbagai macam peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive* (VSD), lampu *fluorescent*, dan lain - lain. Efek dari penggunaan alat –alat tersebut yaitu menimbulkan permasalahan kualitas daya (*power quality*) yaitu berupa munculnya gangguan harmonisa dalam sistem tenaga listrik yaitu pada MCC PAD A THD_v 9.63%, BB MCC PAD-B THD_v 8.73%, BB MCC PAD C THD_v 9.55% dan MCC5.2 THD_v 6.49%. selain itu operasi yang digunakan pada *Plant* CPA saat ini adalah PP1 dan PP2 (yang mengalami penambahan generator Centaur 2 dan 4 motor pump baru) yang bekerja secara independen (konfigurasi belum terintegrasi). Untuk meningkatkan keandalan di *plant* CPA secara keseluruhan (PP1 dan PP2) maka akan ada wacana PP1 dan PP2 ke depan dioperasikan terintegrasi. Pada tugas akhir ini, software yang digunakan untuk proses simulasi adalah ETAP 7.5 untuk melakukan peredaman harmonisa dengan menggunakan filter pasif yang didesain saat konfigurasi belum terintegrasi. Hasil dari tugas akhir ini menunjukkan bahwa penggunaan filter pasif *single tuned* yang didesain saat konfigurasi belum terintegrasi dapat mengurangi nilai harmonisa yang ditimbulkan sehingga memenuhi standar IEEE Std. 519-1992 baik untuk konfigurasi belum terintegrasi maupun untuk konfigurasi terintegrasi dalam wacana kedepanya.

Kata kunci: filter pasif *single tuned*, Harmonisa, peningkatan kehandalan, CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java)



Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Name of Student : Mas Fatkhurrohman
Title of Final Project : Design Harmonic Passive Filter On
Electrical System Of Cpa Petrochina Tuban
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java) Tuban operates in production oil and gas industry. Central Processing Area (CPA) is a place to separate between fluid and gas more further. In the production of process plant CPA JOB P-PEJ(Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban using the variety of power electronic devices such as variable speed drive (VSD), fluorescent lamp, etc. The effect from using such tools is the presence of power quality namely harmonic distortion. The presence of harmonic is detected in MCC PAD A THDV 9.63%, BB MCC PAD-B THDV 8.73%, BB MCC PAD C THDV 9.55% and MCC5.2 THDV 6.49%. In addition, the current operating that using by plant CPA is PP1 and PP2(with added generator centaur 2 and 4 pump motor) working independently(configuration not integrated).To improve reliability in plant CPA in a whole(PP1 and PP2), there are some proposes to integrate between PP1 and PP2 in the future. In this final project the software that are using is ETAP 7.5 in order to damp the harmonic with using pasif filter designed when the condition has not been integrated yet. The result of this final project give evidence that the using pasiv filter single tune designed when the condition has not been integrated yet, successfully decrease the harmonic value hence this current condition fulfill standart IEEE Std. 519-1992 for configuration not integrated or the integrated configuration for the purpose of development in the future.

Key word: pasif filter *single tuned*, Harmonic, reliability improvement, CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java*)



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena telah terselesaikannya pembuatan Tugas Akhir ini, atas segala limpahan karunia, rahmat dan ridho yang didapat penulis. Adapun maksud dibuatnya laporan Tugas Akhir ini, adalah sebagai melengkapi persyaratan menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas petunjuknya berupa Agama Islam.
2. Kedua orang tua dan adik yang telah mendukung penulis selama berkuliah di Teknik Elektro, memberikan doa dalam sholatnya dan memberi semangat tanpa batas selama menempuh studi sampai akhir pembuatan buku ini.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Ir. Sjamsjul Anam, MT. sebagai dosen pembimbing penulis yang telah memberikan pengetahuan, arahan, dan waktu. Dengan sabar beliau telah membimbing penulis sampai akhirnya buku Tugas Akhir penulis dapat terselesaikan.
4. Dan semua teman-teman LJ POWER 2012 dan banyak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung
5. ada_nh yang telah membantu belajar, membuat mengerti memberikan pengetahuan, arahan, dan waktu.

Besar harapan saya sebagai penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL
LEMBAR PENGESAHAN
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Relevansi	4

BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1. Kualitas Daya	5
2.2. Faktor Daya	5
2.3. Harmonisa	6
2.3.1 Pengertian Harmonisa	6
2.3.2 Metode Fourier untuk Analisis Harmonisa	9
2.3.3 Sumber-Sumber Harmonisa	11
2.3.3.1 Konverter.....	11
2.3.3.2 Tanur Busur Listrik	11
2.3.3.3 Transformator.....	12
2.3.3.4 Mesin – Mesin Berputar	13
2.3.4 Pengaruh yang Ditimbulkan Oleh Harmonisa	13
2.3.4.1 Pengaruh Pada Faktor Daya	13
2.3.4.2 Pengaruh Pada Saluran Transmisi	14
2.3.4.3 Pengaruh Pada Transformator	14
2.3.4.4 Pengaruh Pada Kapasitor Bank	15
2.3.4.5 Resonansi	15
2.3.4.5.1 Resonansi Paralel	15
2.3.4.5.2 Resonansi Seri	15
2.3.4.6 Pengaruh Pada Mesin –Mesin Berputar	18

2.3.4.7	Pengaruh Pada Rele Pengaman.....	18
2.3.4.8	Pengaruh Pada Peralatan Pemutus	18
2.3.4.9	Pengaruh Pada Sistem Tenaga Yang Lain	19
2.3.5	Indeks Harmonisa	19
2.3.5.1	<i>Total Harmonic Distortion</i> (THD).....	19
2.3.5.2	<i>Total Demand Distortion</i> (TDD)	20
2.3.6	Filter Harmonisa	22
2.3.6.1	Filter Pasif.....	22
2.3.6.1.1	Filter Dengan Penalaan Tunggal	22
2.3.6.1.2	Filter Dengan Penalaan Ganda	24
2.3.6.2	Filter Aktif Paralel	24

BAB 3. SISTEM KELISTRIKAN *PLANT CPA JOB P-PEJ (CENTRAL PROCESSING AREA JOINT OPERATING BODY PERTAMINA – PETROCHINA EAST JAVA), TUBAN*

3.1	Sistem Kelistrikan <i>Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	27
3.2	Sistem Distribusi Tenaga Listrik <i>Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	30
3.3	Beban Pada Sistem Kelistrikan <i>Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	30
3.4	Sumber Harmonisa di <i>Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	33
3.5	Langkah - Langkah Peredaman Harmonisa di <i>Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	34

BAB 4. ANALISIS DAN HASIL SIMULASI

4.1	Simulasi Sistem Kelistrikan di <i>plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban</i>	39
4.2	Kondisi Eksisting Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintergrasi.	40

4.3	Data - Data Bus Hasil Simulasi Harmonisa dengan Konfigurasi Belum terintegrasi	42
4.3.1	Harmonisa Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintegrasi	43
4.3.2	Harmonisa Arus dengan Konfigurasi Belum Terintegrasi	48
4.4	Perhitungan Spesifikasi Filter Harmonisa	50
4.4.1	Desain Filter Harmonisa Pasif.....	52
4.4.2	Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Tegangan.....	58
4.4.3	Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Arus.....	61
4.5	Kondisi Eksisting Tegangan dengan Konfigurasi Terintegrasi .	62
4.6	Data - Data Bus Hasil Simulasi Harmonisa dengan Konfigurasi Terintegrasi	65
4.6.1	Harmonisa Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintegrasi Dan Terintegrasi	65
4.6.2	Harmonisa Arus dengan Konfigurasi Terintegrasi	68
4.7	Spesifikasi Filter Harmonisa Pada Konfigurasi Terintegrasi	70
4.7.1	Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Tegangan Pada Konfigurasi Terintegrasi	70
4.7.2	Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Arus.....	72

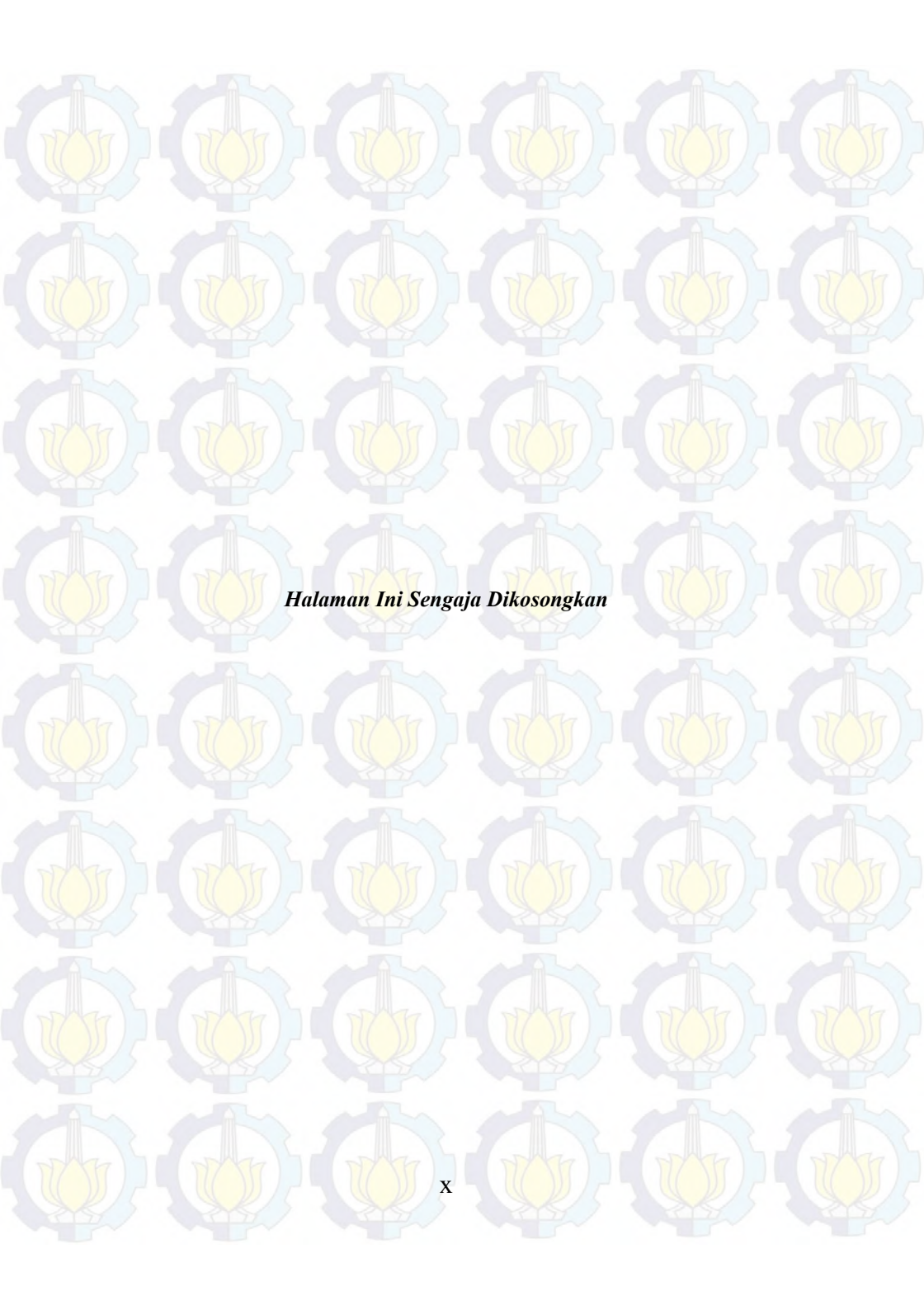
BAB 5. PENUTUP

5.1.	Kesimpulan.....	75
5.2.	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA	77
-----------------------------	----

LAMPIRAN	79
-----------------------	----

RIWAYAT HIDUP PENULIS	85
------------------------------------	----



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
Tabel 2.1	Limit Distorsi Arus Harmonisa Sesuai standar IEEE 519-1992 21
Tabel 2.2	Limitasi Distorsi Tegangan Harmonisa Sesuai Standar IEEE 519-1992 21
Tabel 3.1	Data Generator Pada <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ, Tuban 27
Tabel 3.2	Data Trafomator Pada <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ, Tuban 30
Tabel 3.3	Data Beban Motor Pada <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ, Tuban 31
Tabel 3.4	Data Kemampuan VFD Pada <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ, Tuban 33
Tabel 3.5	Data Sekunder Harmonisa Tegangan Pada <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ, Tuban 38
Tabel 4.1	Data Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Nilai Tegangan <i>plant</i> CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum Terintergrasi 40
Tabel 4.2	Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi Sebelum di Filter 43
Tabel 4.3	Data Bus yang Merupakan Sumber harmonisa 45
Tabel 4.4	Data IHD _v Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Belum Terintergrasi <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ 45
Tabel 4.5	Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi Sebelum di Filter 48
Table 4.6	Spesifikasi Filter Harmonisa PAD A 53
Table 4.7	Spesifikasi Filter Harmonisa PAD B 54
Table 4.8	Spesifikasi Filter Harmonisa PAD C 56
Table 4.9	Spesifikasi Filter Harmonisa VSD (Water Injection Pump 1) 57
Table 4.10	Tabulasi Lengkap Desain Filter Harmonisa Pasif 58
Tabel 4.11	Data Perbandingan THD _v Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintergrasi 58

Tabel 4.12	Data Perbandingan THD _v di Bus Sumber Harmonisa Sebelum dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintergrasi	61
Tabel 4.13	Data Perbandingan IHD _v di Bus Sumber Harmonisa Sebelum dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintergrasi	61
Tabel 4.14	Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi Setelah Pemasangan Filter Pasif.....	62
Tabel 4.15	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Nilai Tegangan <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum terintergrasi <i>Dan</i> Terintergrasi	62
Tabel 4.16	Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter	65
Tabel 4.17	Data Bus Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi yang Merupakan Sumber Harmonisa	68
Tabel 4.18	Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Tanpa Filter.....	68
Tabel 4.19	Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter	69
Tabel 4.20	Data Perbandingan THD _v di Semua Bus Sebelum dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Terintergrasi	70
Tabel 4.21	Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Setelah Pemasangan Filter pasif	72

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR		HALAMAN
Gambar 2.1	Segitiga Daya	6
Gambar 2.2	Gelombang Non Sinusoidal Hasil dari Penjumlahan Gelombang Fundamental dengan Gelombang Harmonisa ke 3	7
Gambar 2.3	Komponen Urutan Positif	8
Gambar 2.4	Komponen Urutan Negatif	8
Gambar 2.5	Komponen Urutan Nol.....	9
Gambar 2.6	Magnetisasi Transformator (Tanpa Histerisis), (a) Kurva Magnetisasi, (b) Bentuk Gelombang Fluks dan Arus Magnetisasi	13
Gambar 2.7	Kurva Impedansi Terhadap Frekuensi Saat Terjadi Resonansi Paralel	16
Gambar 2.8	Fenomena Resonansi Paralel Pada Sistem Tenaga Listrik	16
Gambar 2.9	Kurva Impedansi Terhadap Frekuensi Saat Terjadi Resonansi Seri	17
Gambar 2.10	Fenomena Resonansi Seri Pada Sistem Tenaga Listrik	18
Gambar 2.11	(a) Rangkaian Filter Penalaan Tunggal (b) Grafik Impedansi Terhadap Frekuensi Filter Penalaan Tunggal	23
Gambar 2.12	Rangkaian Filter Penalaan Ganda (a) Transformasi dari Dua Buah Filter Penalaan Tunggal (b) Filter Penalaan Ganda (c) Impedansi Filter Penalaan Ganda yang ditala Pada Orde Lima dan Tujuh	24
Gambar 2.13	Blok Diagram Filter Daya Reaktif Paralel.....	24
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Pada Sistem Kelistrikan <i>Plant</i> CPA JOB P- PEJ Tuban Konfigurasi Belum Terintergrasi	28
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Pada Sistem Kelistrikan <i>Plant</i> CPA JOB P- PEJ Tuban Konfigurasi Terintergrasi	29
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> Metodologi Peredaman Harmonisa di <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ	35
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> Metodologi Peredaman Harmonisa di <i>Plant</i> CPA JOB P-PEJ (lanjutan).....	36

Gambar 3.5	Bus – Bus Yang Terdapat Sumber Harmonisa <i>Variable Speed Drive (VSD)</i>	37
Gambar 4.1	Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad A.....	46
Gambar 4.2	Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad B.....	47
Gambar 4.3	Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad C.....	47
Gambar 4.4	Spektrum Harmonisa Tegangan Pada MCC 5.2.....	48
Gambar 4.5	Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad A.....	49
Gambar 4.6	Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad B.....	49
Gambar 4.7	Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad C.....	50
Gambar 4.8	Spektrum Harmonisa Arus Pada MCC 5.2.....	50

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pujiantara, Margo., “Harmonisa Filter Pasif”, Diktat Kuliah Desain Sistem Kelistrikan Industri, Teknik Elektro, FTI, ITS.
- [2]. Hadi Saadat, Power System, McGraw-Hill Inc, USA,1999.
- [3]. Stevenson, W.D., “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [4]. Setiawan, Awan., “Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik”, Jurnal ELTEK, Volume 05 nomor 02, Oktober 2007 ISSN 1693-4024
- [5]. Rahmat Septian Wijanarko, “Penentuan Peralatan Untuk Meredam Harmonisa Berdasarkan Jenis Sumber Harmonisa, Orde Dan Magnitude Harmonisa Dengan Memperhitungkan Biaya Investasi Di Pt.Wilmar Nabati, Gresik”, Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2014.
- [6]. IEEE Std. 519-1992, “*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*”.
- [7]. IEEE Std. 1531-2003, “*Guide for Application and Specification of Harmonic Filters*”.



Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Mas Fatkhurrohman dilahirkan di kota Madiun, pada tanggal 12 Desember 1990. Penulis menempuh pendidikan akademis di SDN 2 Magetan, SMP Negeri I Magetan, SMU Negeri I Magetan, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan D3 Teknik Elektro Computer Control dan lulus tahun 2012. Setelah lulus dari ITS penulis melanjutkan studinya ke jenjang sarjana pada program Lintas Jalur Gasal 2012 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.. Penulis dapat dihubungi melalui email f.sam32@gmail.com.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

JOB P-PEJ (Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban bergerak dalam bidang produksi minyak dan gas. Central Processing Area (CPA) merupakan suatu tempat untuk proses pemisahan fluida dan gas lebih lanjut. Dalam kegiatan produksinya, *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban menggunakan berbagai macam peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive* (VSD), lampu *fluorescent*, dan lain - lain. Efek dari penggunaan alat –alat tersebut yaitu menimbulkan permasalahan kualitas daya (*power quality*) yaitu berupa munculnya gangguan harmonisa dalam sistem tenaga listrik. Hal tersebut dikarenakan peralatan-peralatan elektronika daya tersebut memiliki karakteristik beban tidak linier yang dapat menyebabkan gangguan harmonisa. Fenomena harmonisa yang muncul akan menyebabkan panas dari rugi – rugi daya sehingga menyebabkan penurunan umur peralatan seperti motor, kabel dan trafo.

Peralatan di industri yang umumnya digunakan untuk meredam gangguan harmonisa yaitu filter harmonisa pasif. Peralatan tersebut memiliki tingkat efektivitas peredaman harmonisa yang baik dan perawatan yang mudah.

Operasi yang digunakan pada *Plant* CPA saat ini adalah PP1 dan PP2 (yang mengalami penambahan generator Centaur 2 dan 4 motor pump baru) yang bekerja secara independen (konfigurasi belum terintegrasi). Untuk meningkatkan keandalan di *plant* CPA secara keseluruhan (PP1 dan PP2) maka akan ada wacana PP1 dan PP2 ke depan dioperasikan terintegrasi.

Pada Tugas Akhir ini, *software* yang digunakan adalah ETAP 7.5.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini :

1. Bagaimana mensimulasikan dan menganalisis kondisi eksisting sistem kelistrikan di *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban?

2. Bagaimana mensimulasikan dan menganalisis gangguan harmonisa yang ada pada *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban ?
3. Bagaimanakah cara menentukan desain peralatan filter harmonisa pasif untuk meredam gangguan harmonisa pada plant dengan konfigurasi belum terintergrasi?
4. Bagaimana kemampuan filter yang didesain saat konfigurasi belum terintergrasi *dan* digunakan untuk meredam harmonisa saat konfigurasi terintergrasi?

Batasan-batasan yang digunakan untuk menganalisis antara lain:

1. Perangkat lunak yang digunakan ialah ETAP 7.5
2. Penulis mensimulasikan dan menganalisa suatu permodelan sistem kelistrikan berdasarkan data sekunder hasil pengukuran langsung yang ada.

1.3 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisis dan mensimulasikan sistem kelistrikan di *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban menggunakan software ETAP 7.5.
2. Memberikan solusi untuk mengurangi gangguan harmonisa akibat penggunaan beban tidak linier *variable speed drive*.
3. Memberikan perancangan dan perhitungan filter pasif yang tepat sebagai peredam gangguan harmonisa.
4. Mengetahui kemampuan filter yang didesain saat konfigurasi belum terintergrasi *dan* digunakan untuk meredam harmonisa saat konfigurasi terintergrasi.

1.4 Metodologi

Metodologi yang di pakai dalam Tugas Akhir ini meliputi beberapa tahap :

1. Studi Literatur
Mengumpulkan buku, paper, dan referensi mengenai harmonisa, sumber – sumber harmonisa, dan perhitungan yang tepat dalam perancangan filter harmonisa pasif.

2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan berupa data *single line diagram*, data peralatan dan *library* harmonisa didapatkan dari data sekunder yang ada.

3. Pengolahan Data

Pemodelan semua data pada sistem kelistrikan di *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina *East Java*), Tuban dilakukan dalam bentuk simulasi menggunakan ETAP 7.5. Simulasi yang dilakukan berupa simulasi aliran daya dan harmonisa.

4. Melakukan Simulasi dan Analisis

Langkah pertama hasil dari simulasi aliran daya konfigurasi belum terintergrasi dan terintergrasi digunakan untuk analisis awal kondisi sistem kelistrikan. Kemudian, simulasi harmonisa konfigurasi belum terintergrasi dan terintergrasi digunakan untuk melihat besar gangguan harmonisa pada semua bus dan kabel.

Langkah kedua, berdasarkan hasil simulasi harmonisa konfigurasi belum terintergrasi, dilakukan penempatan filter harmonisa pasif di beberapa tempat tertentu sehingga indeks harmonisa yang ada pada sistem kelistrikan konfigurasi belum terintergrasi dapat memenuhi standar IEEE 519 – 1992

Langkah ketiga, dilakukan simulasi harmonisa konfigurasi terintergrasi dengan kondisi filter harmonisa yang telah didesain saat konfigurasi belum terintergrasi dalam posisi tidak aktif dan hasilnya dicatat. Kemudian dilakukan simulasi harmonisa konfigurasi terintergrasi dengan kondisi filter harmonisa yang telah didesain saat konfigurasi belum terintergrasi dalam posisi aktif dan hasilnya dicatat. apabila indeks harmonisanya memenuhi standar IEEE 519 – 1992 maka didapat kesimpulannya dan proses berakhir. Tetapi jika masih belum maka dilakukan perancangan ulang.

5. Kesimpulan dan saran

Memberikan kesimpulan mengenai kondisi harmonisa akibat gangguan yang ada di *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina *East Java*), Tuban. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, serta relevansi yang dicapai dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.

BAB 2 Teori Penunjang

Dalam bab ini berisikan tentang teori-teori yang menunjang bersangkutan dengan harmonisa dan bagaimana cara untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat harmonisa, serta *Passive Filter*.

BAB 3 Sistem Kelistrikan Sistem Kelistrikan *Plant Cpa Job P-Pej (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban

Dalam bab ini dibahas tentang sistem kelistrikan yang ada pada *plant* meliputi pembangkit, beban, dan sumber dari harmonisa.

BAB 4 Analisis dan Hasil Simulasi

Dalam bab ini berisikan tentang hasil analisis dari proses simulasi yang telah dilakukan.

BAB 5 Penutup

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan yang dapat diambil dan saran bersangkutan dengan penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat diterapkan di dunia industri yang memiliki masalah yang sama dalam kualitas daya.
2. Dapat meningkatkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang peningkatan kualitas daya.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk Tugas Akhir.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Kualitas Daya

Masalah kualitas daya didefinisikan sebagai semua masalah daya listrik berupa penyimpangan besaran tegangan, arus, atau frekuensi yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik. Macam-macam permasalahan kualitas daya:

- Tegangan transien / surja
- Perubahan tegangan
- Ketidakseimbangan tegangan dan fasa
- Distorsi bentuk gelombang / harmonisa
- Perubahan frekuensi
- Fluktuasi tegangan
- Deviasi faktor daya

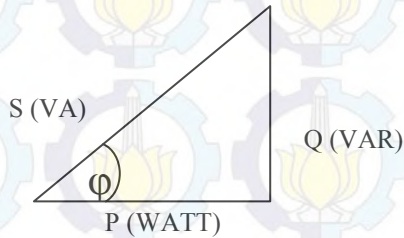
Suatu sistem tenaga listrik dituntut memenuhi syarat dasar kebutuhan layanan kepada konsumen yaitu:

- Dapat memenuhi beban puncak.
- Memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum.
- Menjamin urutan phase yang benar.
- Menjamin distorsi gelombang tegangan dan harmonisa yang minimum dan bebas dari surja tegangan.
- Menjamin suplai sistem tegangan dalam keadaan setimbang.
- Memberikan suplai daya dengan keandalan tinggi dengan prosentase waktu pelayanan yang tinggi sehingga sistem dapat melayani beban secara efektif.

Jenis gangguan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah harmonisa. Akibat adanya gangguan harmonisa akan berpengaruh pada peralatan-peralatan seperti kabel, motor dan generator. Pengaruhnya dapat terlihat pada efisiensi dan umur peralatan yang dapat berdampak pada ketidaksesuaian kapasitas produksi.

2.2. Faktor Daya^{[2] [3]}

Faktor daya ($\cos \phi$) dimana ϕ adalah sudut antara daya total (S) dengan daya aktif (P). Faktor yang mempengaruhi faktor daya adalah daya reaktif. Daya reaktif yang tinggi dapat mengakibatkan sudut antara daya aktif dan daya total menjadi besar sehingga nilai faktor daya menjadi kecil.



Gambar2.1 Segitiga Daya

$$I = \frac{P}{\cos \phi} \quad (2.1)$$

$$Q = P \tan \phi \quad (2.2)$$

Bentuk arus dan tegangan bisa dipengaruhi oleh sifat beban yang diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Beban resistif ditandai dengan arus yang sefasa dengan tegangan. Beban induktif ditandai dengan arus yang tertinggal terhadap tegangan sebesar 90° . Beban kapasitif ditandai dengan arus yang mendahului terhadap tegangan sebesar 90° .

Pada sistem sinus (bentuk gelombang tegangan dan arus sinus murni), faktor daya menunjukkan besar daya reaktif yang diserap. Apabila nilai tegangan dan arus tiap fasa berbeda maka nilai faktor daya di setiap fasa juga akan berbeda. Nilai standar faktor daya yang ditetapkan oleh PLN (Aturan Jaringan Tenaga Listrik point Connection Code (CC) no 2.1.F) adalah sebesar 0.85 lagging.

Variasi Tegangan dalam sistem penyediaan tenaga listrik secara umum tegangan dititik suplai diizinkan bervariasi antara +5 % dan -10 % (Aturan Jaringan Tenaga Listrik point Connection Code (CC) no 2.1.B), sedangkan dalam ANSI diatur dalam no C84-1 diizinkan -10% dan +4 % dalam keadaan normal, sedangkan dalam kondisi tertentu diizinkan -13 % dan +6 %. Agar memenuhi keseluruhan standar tersebut, diambil nilai $\pm 5\%$ (95 – 105 %).

2.3. Harmonisa ^[1]

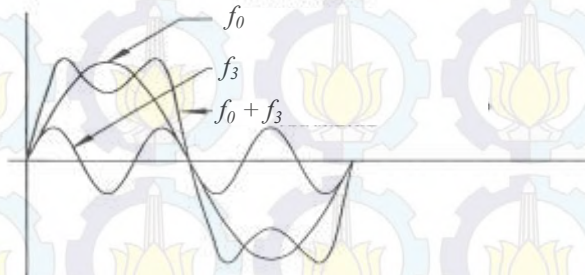
2.3.1. Pengertian Harmonisa

Harmonisa adalah cacat gelombang akibat adanya interferensi gelombang lain yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat positif

dari frekuensi fundamentalnya. Akibat timbulnya frekuensi harmonisa ini, maka frekuensi fundamental akan mengalami distorsi. Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisa (f , $2f$, $3f$). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa (h_1 , h_2 , h_3) pada frekuensi kelipatan. Semakin banyak gelombang harmonisa yang disertakan pada gelombang fundamental, maka gelombang semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang berbentuk non sinusoidal.

Frekuensi dasar dari gelombang tersebut dinamakan frekuensi fundamental. Untuk sistem tenaga dengan frekuensi dasar f_0 , frekuensi dari harmonisa orde ke- n adalah $n \cdot f_0$. Pada satu periode gelombang sinus yang terdistorsi oleh harmonisa terdiri dari beberapa komponen harmonisa, yaitu harmonisa ke-1, ke-2, ke-3. Harmonisa ke-3 berarti harmonisa yang mempunyai frekuensi tiga kali dari frekuensi fundamental, jika frekuensi fundamental 60 Hz maka harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi 180 Hz atau dituliskan persamaan $f_h = n \times f_0$ dengan n adalah bilangan bulat positif.

Berikut adalah gambar 2.2 gelombang dari harmonisa tersebut :



Gambar 2.2 Gelombang Non Sinusoidal Hasil dari Penjumlahan Gelombang Fundamental dengan Gelombang Harmonisa ke 3

Dalam sistem tiga fasa, harmonisa yang dihasilkan sama seperti sistem satu fasa. Harmonisa genap biasanya diabaikan karena resultan harmonisa ini dengan komponen fundamental menghasilkan bentuk gelombang yang simetris. Dalam analisis harmonisa sistem tiga fasa, harmonisa ditinjau berdasarkan teori komponen simetris. Pada sistem tiga fasa seimbang, arus-arus dari sumber harmonisa tiga fasa seimbang

dapat dikelompokkan menurut arah putaran fasanya menjadi 3 kelompok yaitu :

1) Harmonisa urutan positif (harmonisa ke 4,7,10, ...)

Contoh harmonisa orde ketujuh

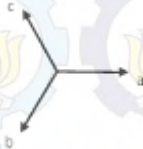
$$i_{a7} = I_{a7} \cdot \sin 7\omega t \quad (2.3)$$

$$i_{b7} = I_{b7} \cdot \sin 7(\omega t - 120) = I_{b7} \cdot \sin (7\omega t - 840)$$

$$i_{b7} = I_{b7} \cdot \sin (7\omega t - 120) \quad (2.4)$$

$$i_{c7} = I_{c7} \cdot \sin 7(\omega t - 240) = I_{c7} \cdot \sin (7\omega t - 1680)$$

$$i_{c7} = I_{c7} \cdot \sin (7\omega t - 240) \quad (2.5)$$



Gambar 2.3 Komponen Urutan Positif

Harmonisa yang mempunyai urutan fasa yang sama dengan harmonisa dasarnya. Harmonisa tersebut dapat menyebabkan penambahan panas di konduktor, CB, dan panel-panel lainnya.

2) Harmonisa urutan negatif (harmonisa ke ,5,8, ...)

Contoh harmonisa orde kelima

$$i_{a5} = I_{a5} \cdot \sin 5\omega t \quad (2.6)$$

$$i_{b5} = I_{b5} \cdot \sin 5(\omega t - 120) = I_{b5} \cdot \sin (5\omega t - 600)$$

$$i_{b5} = I_{b5} \cdot \sin (5\omega t - 240) \quad (2.7)$$

$$i_{c5} = I_{c5} \cdot \sin 5(\omega t - 240) = I_{c5} \cdot \sin (5\omega t - 1200)$$

$$i_{c5} = I_{c5} \cdot \sin (5\omega t - 120) \quad (2.8)$$



Gambar 2.4 Komponen Urutan Negatif

Harmonisa yang mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan harmonisa dasarnya. Harmonisa urutan negatif dapat menimbulkan panas dan menyebabkan masalah pada motor induksi sehingga menyebabkan perlambatan pada motor tersebut.

3) Harmonisa urutan nol (harmonisa ke 3,6,9, ...)

Contoh harmonisa orde ketiga

$$i_{a3} = I_{a3} \cdot \sin 3\omega t \quad (2.9)$$

$$i_{b3} = I_{b3} \cdot \sin 3(\omega t - 120) = I_{b3} \cdot \sin (3\omega t - 360) \quad (2.10)$$

$$i_{c3} = I_{c3} \cdot \sin 3\omega t \quad (2.11)$$

$$i_{c3} = I_{c3} \cdot \sin 3(\omega t - 240) = I_{c3} \cdot \sin (3\omega t - 720)$$

$$i_{c3} = I_{c3} \cdot \sin 3\omega t$$



Gambar 2.5 Komponen Urutan Nol

Harmonisa urutan nol tidak memproduksi perputaran medan di kedua arah, sehingga menghasilkan panas yang lebih dibandingkan urutan positif dan urutan negatif. Harmonisa ini tidak dapat dihilangkan. Bahaya yang terjadi dari harmonisa urutan nol adalah arus normal yang lebih besar, sehingga arus tersebut dapat menyebabkan kebakaran. Selain itu harmonisa ini tidak menghilangkan arus netral tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa.

2.3.2. Metode Fourier untuk Analisis Harmonisa^[1]

Teori *Fourier Series* atau deret Fourier pertama kali dikenalkan oleh ahli Fisika dan Matematika, yaitu Jean Babbtiste Joseph Fourier. Teori ini membuktikan bahwa beberapa fungsi periodik dalam jangka waktu tertentu dapat direpresentasikan dengan penjumlahan komponen harmonisa dan kelanjutan orde yang lebih tinggi pada frekuensinya yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya.

Suatu fungsi $x(t)$ dikatakan fungsi periodik jika memenuhi syarat-syarat berikut ini :

1. $x(t) = x(t + T)$; T adalah periode.
2. Selama periode tertentu, fungsi harus mempunyai harga rata-rata tertentu.
3. Jika k adalah bilangan integer, maka $x(t + kT) = x(t)$ untuk semua nilai t .
4. Jika dua fungsi $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ mempunyai periode sama maka $x_3(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$, a dan b konstanta.
5. Dalam satu periode T , fungsi harus mempunyai harga maksimum atau minimum yang jumlahnya tertentu.

Suatu fungsi periodik $x(t)$ dapat diuraikan menjadi deret Fourier yang bentuknya :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n\omega t) + b_n \cdot \sin(n\omega t)) \quad (2.12)$$

dengan,

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

untuk kurva $x(t)$ dari $-T/2$ sampai dengan $T/2$ dapat diperoleh :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (2.13)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2.14)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt \quad (2.15)$$

Deret Fourier juga dapat dinyatakan dalam bentuk berikut :

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \cdot \cos(n\omega t + \theta_n) \quad (2.16)$$

dengan :

$$c_0 = a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt, \theta_0 = 0 \quad (2.17)$$

$$c_0 = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.18)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n} \quad (2.19)$$

Penyederhanaan analisis Fourier dapat dilakukan dengan menggunakan sifat-sifat khusus sebagai berikut :

- (a) Bila luas siklus positif dan negatif dalam satu periode gelombang sama, maka $a_0 = 0$.
- (b) Bila $f(t) = -f(t + T)$, atau fungsi mempunyai simetri setengah gelombang maka tidak akan muncul harmonisa orde genap.
- (c) Bila fungsi merupakan fungsi genap, biasanya simetri terhadap sumbu y, $f(t) = f(-t)$, maka $b_n = 0$.
- (d) Bila fungsi merupakan fungsi ganjil, biasanya suatu fungsi akan kembali ke posisi semula jika dicerminkan terhadap sumbu x dan dicerminkan lagi terhadap sumbu y, $f(t) = -f(t)$, maka $a_n = 0$.

Dengan analisis fourier pada bentuk gelombang arus yang diserap oleh komponen atau beban penyebab harmonisa, maka dapat ditentukan komponen-komponen harmonisa yang dibangkitkan.

2.3.3. Sumber-Sumber Harmonisa^{[1] [4] [5]}

2.3.3.1 Konverter

Kenyataan menunjukkan, bahwa pemakai komponen semikonduktor seperti diode dan thyristor dalam konversi energi listrik yang dipakai pada peralatan konverter seperti untuk penyearah (*rectifier*), inverter dan lainnya serta peralatan elektronika yang dipergunakan untuk mengatur tegangan maupun kecepatan putaran motor menunjukkan perkembangan yang pesat dalam pemakaiannya. Beberapa contoh umum pemakaian konverter :

1. Lampu *flourescent*, *dimmer*.
2. Peralatan kantor seperti komputer dan mesin fax.
3. Perangkat elektronik untuk rumah tangga seperti TV, *microwave*
4. *Variable speed drive* (VSD).
5. *Charger* baterai.
6. *Uninterruptible Power Supply* (UPS).

Pemakaian konverter sebagai penyearah arus bolak-balik membawa kerugian pada jaringan listrik, yaitu merusak bentuk gelombang tegangan dan arus bolak-balik sehingga tidak merupakan gelombang sinusoidal murni. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang tidak sinusoidal tersebut mengandung gelombang frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa yang dapat menyebabkan adanya gangguan pada sistem tenaga listrik. Dari bentuk gelombang arus di sisi arus AC pada peralatan konverter dapat diperoleh beberapa hal yang penting, yaitu :

1. Tidak ada harmonisa kelipatan tiga yang berarti tidak ada harmonisa urutan nol.
2. Pada penyearah enam pulsa, harmonisa yang terjadi hanya pada orde $6k \pm 1$, dengan k adalah bilangan integer. Orde harmonisa $6k+1$ untuk harmonisa urutan negatif sedangkan orde harmonisa $6k-1$ untuk harmonisa urutan positif.
3. Pada penyearah dua belas pulsa harmonisa yang terjadi hanya pada orde $12k \pm 1$.

2.3.3.2 Tanur Busur Listrik

Tanur busur listrik berfungsi untuk melebur biji besi dalam industri logam. Tanur busur listrik adalah elemen beban yang tidak linier

dan dapat menyebabkan timbulnya arus harmonisa yang cukup besar pada jaringan tenaga listrik yang terhubung dengan tanur busur listrik.

Penggunaan tanur busur listrik sering kali menimbulkan gangguan terhadap jaringan antara lain:

1. Distorsi harmonisa.
2. Kedip tegangan (*flicker*).
3. Goncangan frekuensi.
4. Ketidakseimbangan tegangan (*voltage unbalanced*).

Busur listrik yang terjadi selama tanur busur listrik beroperasi hampir selalu tidak dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan oleh pengaruh perubahan elektroda, interaksi gaya elektromagnetik busur dan pengaruh riak permukaan biji yang telah melebur. Bentuk gelombang arus tanur busur listrik pada setiap periode gelombang mempunyai bentuk yang tidak sama sehingga bentuk gelombang arus dari tanur busur tidak bersifat periodik, sehingga dalam hal ini tidak bisa dibuat persamaan gelombangnya. Untuk mendapatkan level arus yang ditimbulkan oleh busur listrik sangat tergantung pada referensi yang dipakai.

Karena bentuk gelombangnya yang tidak sama pada tiap periode, maka harmonisa yang dibangkitkan oleh tanur busur listrik tidak dapat diprediksi dan selalu berubah-ubah tergantung pada kondisi tanur busur listrik yang meliputi posisi elektrode, *scrap* baja, busur api antar elektrode, dan elektrode beserta groundingnya. Keunikan karekteristik dari sistem ini adalah munculnya sub-harmonisa, yaitu harmonisa dengan frekuensi di bawah frekuensi fundamental (50 Hz). Untuk mengetahui komponen harmonisa yang dibangkitkan, maka diperlukan pengukuran.

2.3.3.3 Transformator

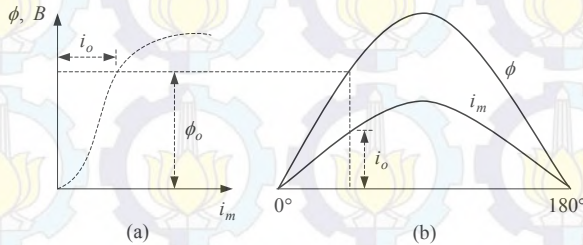
Pada saat transformator tidak berbeban, tegangan primer trafo sebanding dengan EMF balik karena efek resistansi belitan dan reaktansi arus bocor diabaikan pada arus rendah. Tegangan tersebut dinyatakan dengan :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.20)$$

dari persamaan (2.20) dapat diperoleh rata-rata fluksi :

$$\varphi = - \int \frac{e_1}{N_1} dt = \frac{E_m}{N_1 \omega} \sin \omega t = \varphi_m \sin \omega t \quad (2.21)$$

Berarti bahwa tegangan primer yang sinusoidal akan menghasilkan fluks yang sinusoidal pula pada kondisi tanpa beban. Pada inti ideal tanpa rugi-rugi histerisis hubungan antara fluks dan arus magnetisasi I_m ditentukan oleh kurva magnetisasi bahan yang digunakan pada laminasinya yang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.6 Magnetisasi Transformator (Tanpa Histerisis), (a) Kurva Magnetisasi, (b) Bentuk Gelombang Fluks dan Arus Magnetisasi

Distorsi yang digambarkan kurva di atas disebabkan oleh harmonisa ketiga. Untuk menjaga tegangan suplai sinusoidal, diperlukan jalur untuk harmonisa ketiga dan biasanya dicapai dengan menggunakan hubungan belitan bintang delta. Transformator juga harus dirancang dengan memakai bahan inti yang memiliki sifat-sifat magnetis yang baik.

2.3.3.4 Mesin-Mesin Berputar

Generator sinkron dan motor induksi secara umum menghasilkan sejumlah harmonisa. Pada generator sinkron harmonisa disebabkan karena kejenuhan dan distribusi fluks yang tidak sinusoidal. Sehingga terbangkit EMF tidak sinusoidal yang menghasilkan arus harmonisa bila dibebani.

2.3.4. Pengaruh Yang Ditimbulkan Oleh Harmonisa^{[1] [4] [5]}

2.3.4.1. Pengaruh Pada Faktor Daya

Pada umumnya beban-beban listrik dari suatu sistem tenaga listrik mempunyai faktor kerja lagging atau bersifat induktif. Beban-beban tersebut antara lain motor-motor induksi, trafo daya, beban konverter, dan lain-lain yang menarik arus magnetisasi dari jaringan sehingga beban-beban tersebut membutuhkan daya reaktif dari jaringan sistem tenaga listrik. Bila kebutuhan daya reaktif sangat besar, maka

dapat mengakibatkan faktor daya menjadi makin kecil, sedangkan berkurangnya faktor daya dapat menimbulkan berbagai kerugian baik dipihak pembangkit maupun pihak konsumen. Adapun kerugian dipihak konsumen antara lain :

1. Perbedaan tegangan listrik pada kondisi beban ringan dan beban penuh relatif besar. Hal ini berarti pengaturan tegangan menjadi buruk.
2. Instalasi listrik dengan pembatasan arus tertentu (kW) akan memerlukan kapasitas yang lebih besar.

Kerugian pihak pembangkit adalah :

1. Menurunnya efesiensi peralatan, seperti transformator daya dan jaringan penghantar. Dalam hal ini untuk daya aktif yang sama, menurunnya faktor daya akan menambah besar arus yang melalui peralatan tersebut, sehingga rugi-rugi daya akan bertambah besar. Dengan demikian efesiensi peralatan akan menurun.
2. Drop tegangan akan menjadi lebih besar.

2.3.4.2. Pengaruh Pada Saluran Transmisi

Pengaruh harmonisa terhadap saluran transmisi adalah meningkatnya rugi transmisi yang disebabkan oleh adanya peningkatan nilai rms gelombang arus. Rugi-rugi daya pada saluran transmisi (P_{loss}) pada sistem yang mengandung komponen harmonisa dapat dihitung dengan rumus Persamaan 2.22,

$$P_{loss} = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \cdot R \quad (2.22)$$

dengan I_n adalah arus harmonisa ke- n dan R adalah resistansi sistem.

Pada transmisi dengan kabel, tegangan harmonisa dapat mengakibatkan peningkatan tekanan dielektrik yang sebanding dengan puncak tegangan. Hal ini akan memperpendek umur kabel. Selain itu pada kabel yang mengalir arus harmonisa, akan mengakibatkan peningkatan temperatur (panas). Hal ini disebabkan oleh rugi-rugi yang timbul dari aliran arus harmonisa tertentu dan efek pengulitan akibat frekuensi tinggi.

2.3.4.3. Pengaruh Pada Transformator

Timbulnya arus harmonisa meningkatkan rugi-rugi histerisis dan arus Eddy serta tekanan isolasi. Aliran arus harmonisa meningkatkan rugi-rugi tembaga dan efek ini lebih nyata pada transformator konverter, karena tidak terpengaruh adanya filter yang biasanya dipasang pada sisi

AC. Terlepas dari rating yang dikehendaki, Transformator konverter sering menimbulkan titik panas yang tidak terduga.

Pengaruh terpenting pada trafo daya, adanya arus sirkulasi ketiga urutan nol pada belitan delta. Sirkulasi arus dapat melampaui batas kemampuan belitan yang tidak pernah terpikirkan pada saat perencanaan.

2.3.4.4. Pengaruh Pada Kapasitor Bank

Adanya distorsi tegangan mengakibatkan rugi daya pada kapasitor bank sebesar :

$$P_{loss} = \sum_{n=1}^{\infty} C (\tan \delta) \omega_n V_n^2 \quad (2.23)$$

dengan $\tan \delta = \frac{R}{1/\omega C}$ adalah faktor rugi, $\omega_n = 2\pi f_n$ dan V_n adalah frekuensi dan tegangan harmonisa orde ke-n. Total daya reaktif termasuk daya reaktif *fundamental* adalah

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \quad (2.24)$$

Resonansi seri dan paralel antara kapasitor dan sistem dapat menyebabkan tegangan lebih yang meningkatkan rugi-rugi yang tinggi dan panas lebih pada kapasitor yang sering mengakibatkan kerusakan pada kapasitor tersebut.

2.3.4.5. Resonansi

Kehadiran kapasitor bank yang sering dipakai untuk perbaikan faktor daya dapat menyebabkan timbulnya resonansi sistem lokal (pada daerah terbatas) yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang akan merusak kapasitor itu sendiri. Resonansi pada sistem tenaga listrik, dikenal dua buah resonansi, yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

2.3.4.5.1 Resonansi Paralel

Resonansi paralel akan menghasilkan impedansi yang tinggi pada frekuensi harmonisa, karena sebagian besar sumber-sumber harmonisa dianggap sebagai penghasil arus yang menaikkan tegangan harmonisa dan arus harmonisa yang tinggi pada setiap lengan impedansi paralel.



Gambar 2.7 Kurva Impedansi Terhadap Frekuensi Saat Terjadi Resonansi Paralel

Frekuensi resonansi paralel adalah

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_s}{S_c}} \quad (2.25)$$

dengan,

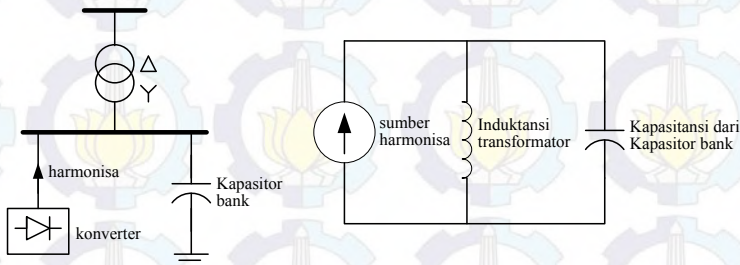
f : frekuensi fundamental (Hz)

f_p : frekuensi resonansi paralel (Hz)

S_s : rating sumber short circuit (VAR)

S_c : rating kapasitor (VAR)

Resonansi paralel dapat terjadi pada beberapa cara, yang paling sederhana mungkin ketika sebuah kapasitor dihubungkan pada *busbar* yang sama dengan sumber harmonisa di mana *busbar* tersebut terhubung dengan transformator. Sebuah resonansi paralel dapat segera timbul diantara sumber dan kapasitor.



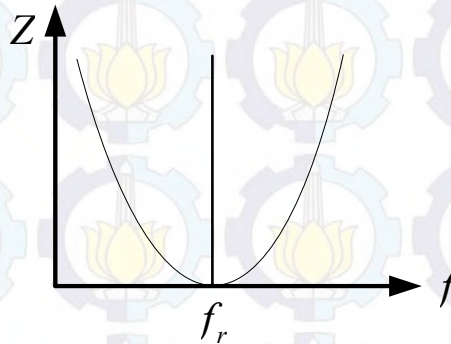
Gambar 2.8 Fenomena Resonansi Paralel Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada gambar di atas, resonansi paralel terjadi ketika sumber harmonisa (*harmonic source : Variable Speed Drive*) bertemu dengan kapasitor bank yang dipasang pada *busbar* yang sama dengan sumber

harmonisa tersebut dan terhubung dengan transformator yang memiliki induktansi yang tinggi. Hal ini akan menghasilkan sebuah resonansi antara transformator dan kapasitor bank.

2.3.4.5.2 Resonansi Seri

Resonansi seri akan mengakibatkan impedansi menjadi sangat kecil sehingga arus kapasitor yang tinggi dapat mengalir untuk tegangan yang relatif kecil.



Gambar 2.9 Kurva Impedansi Terhadap Frekuensi Saat Terjadi Resonansi Seri

Resonansi seri dapat terjadi ketika sebuah sumber harmonisa terletak pada *busbar* yang sama dengan sumber induktansi seperti transformator dan pada *downfeeder* busbar tersebut diletakkan kapasitor bank, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.9 Resonansi seri akan timbul antara transformator dan kapasitor bank. Frekuensi pada saat terjadi resonansi seri adalah

$$f_s = f \sqrt{\frac{S_1}{S_c Z_1} - \frac{S_1^2}{S_c^2}} \quad (2.26)$$

dengan,

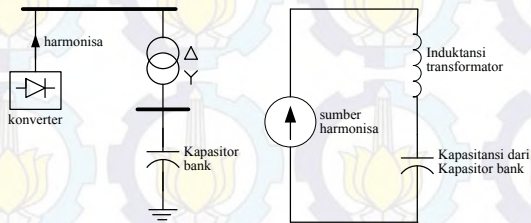
f : frekuensi fundamental (Hz)

f_s : frekuensi resonansi seri (Hz)

S_l : rating transformator (VAR)

S_c : rating kapasitor bank (VAR)

Z_l : impedansi transformator dalam pu



Gambar 2.10 Fenomena Resonansi Seri Pada Sistem Tenaga Listrik.

2.3.4.6. Pengaruh Pada Mesin –Mesin Berputar

Tegangan atau arus harmonisa menimbulkan penambahan rugi-rugi pada belitan stator dan rangkaian rotor, dan laminasi pada rotor dan stator. Kerugian-kerugian ini lebih besar dari kerugian akibat resistansi DC karena arus Eddy dan skin effect.

Arus harmonisa timbul pada stator mesin AC menghasilkan aksi motor (slip harmonisa positif, S_n). Aksi ini menghasilkan torsi shaft pada arah yang sama dengan kecepatan medan harmonisa sehingga semua harmonisa urutan positif membantu putaran torsi shaft sedangkan harmonisa urutan negatif berlaku sebaliknya.

2.3.4.7. Pengaruh Pada Rele Pengaman

Harmonisa dapat mempengaruhi kerja rele pengaman yang bekerja tergantung pada nilai puncak tegangan atau arus, atau *zero crossing point*, selain itu juga tergantung dari kontruksi dan prinsip kerja dari rele pengaman tersebut. Rele-rele elektromagnetik dapat terganggu karakteristik penundaan waktu (*Time Delay Characteristic*) akibat adanya komponen-komponen torsi harmonik. Sedangkan relay arus tanah (*Ground Fault Relay*) pada umumnya tidak bisa membedakan antara arus gangguan tanah dengan komponen harmonisa urutan nol (kelipatan tiga).

Rele digital yang bekerja dengan mikroprosesor mempunyai filter dan tidak dipengaruhi oleh kesalahan frekuensi, karena peralatan tersebut mengambil dan menggunakan gelombang dasar dari gelombang yang terdistorsi.

2.3.4.8. Pengaruh Pada Peralatan Pemutus

Harmoisa dapat meningkatkan arus sesaat pada saat gelombang mencapai nol. Akibatnya laju kenaikan *Transient Recovery Voltage*

(TRV) pada saat pemutusan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan sistem dalam keadaan normal. Bila pengaruh distorsi harmonisa ini dibiarkan dapat mengakibatkan kegagalan pemutusan.

Pengaruh Harmonisa pada pemutus beban lainnya, harmonisa dapat menyebabkan bergesernya titik perpotongan gelombang arus dengan sumbu. Saat perpotongan tersebut akan mempengaruhi nilai puncak dari TRV.

2.3.4.9. Pengaruh Pada Sistem Tenaga Yang Lain

Beberapa pengaruh harmonisa pada sistem tenaga listrik selain yang disebutkan diatas yang tidak boleh diabaikan antara lain sebagai berikut :

- a. Frekuensi harmonisa berinterferensi dengan *ripple control* sistem PLC (*Power Line Carrier*), dan ini bisa menyebabkan kesalahan operasi dalam melakukan *remote switching* pengaturan beban, dan metering.

Kesalahan dalam induksi KWh.

2.3.5. Indeks Harmonisa^{[6] [7]}

Secara umum ada dua indeks penting yang digunakan untuk mengukur besar distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik yaitu *Total Harmonic Distortion (THD)* dan *Total Demand Distortion (TDD)*. Kedua indeks tersebut merupakan nilai efektif tegangan dan arus harmonisa

2.3.5.1. Total Harmonic Distortion (THD)

THD didefinisikan sebagai prosentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamental (komponen dapat berupa tegangan atau arus). THD dituliskan sebagai :

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^k V_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{V_1} \times 100\% \quad (2.27)$$

V_n = komponen harmonisa

n = Orde harmonisa

V_1 = komponen fundamental

k = komponen harmonisa maksimum yang diamati

Secara umum digunakan indeks harmonisa yaitu :

$$\text{THD}_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad \text{atau} \quad \text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.28)$$

Yang menjadi pengertian adalah perbandingan nilai antara komponen harmonisa dengan komponen fundamental ditulis dalam persen sehingga THD dapat menggambarkan kerugian energi termal oleh setiap komponen harmonisa. Indeks ini digunakan untuk mengukur deviasi gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus murni. Untuk memperoleh gelombang sinus murni pada frekuensi fundamental, maka THD = 0.

2.3.5.2. Total Demand Distortion (TDD)

TDD didefinisikan sebagai perbandingan antara komponen arus harmonisa dengan arus beban *demand* maksimum.

$$\text{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L}, \quad (2.29)$$

I_L adalah arus beban *demand* maksimum (15 atau 30 menit *demand*) pada frekuensi fundamental di *Point of Common Coupling* (PCC), dihitung sebagai arus rata-rata dari beban maksimum untuk 12 bulan sebelum pengukuran. Konsep TDD ini relevan dengan aplikasi dari standar IEEE 519-1992. Untuk suatu sistem tenaga listrik, ada suatu batas untuk THD. Batas tersebut tidak sama untuk setiap negara, tergantung standar yang dipakai. Dalam hal ini diberikan contoh standar dari IEEE Std. 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisis distorsi harmonisa yaitu batas untuk distorsi arus dan batas untuk distorsi tegangan.

Tabel diatas memuat standar pembatasan untuk distorsi arus. Rasio I_{SC}/I_L adalah arus hubung singkat pada *Point of Common Coupling* (PCC) terhadap arus beban nominal pada frekuensi fundamental. Dalam tabel tersebut, tegangan yang dipakai adalah antara 120 V sampai 69 kV. Untuk tegangan 69 kV sampai dengan 161 kV dipakai standar limitasi untuk sistem subtransmisi. Untuk batas distorsi tegangan maka tabel berikut ini memuat standar untuk limitasi distorsi tegangan pada PCC.

Tabel 2.1 Limit Distorsi Arus Harmonisa Sesuai standar IEEE 519-1992

Distorsi Harmonisa Arus Maksimum Dalam Persen I_L						
I_{SC}/I_L	Orde Harmonisa Individu (Harmonisa Ganjil)					
	<11	$11 \leq n \leq 17$	$17 \leq n \leq 23$	$23 \leq n \leq 35$	$35 \leq n$	THD
< 20*	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 – 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 – 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 – 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Distorsi Harmonisa Arus Maksimum Dalam Persen I_L						
Orde Harmonisa Individu (Harmonisa Ganjil)						
Distorsi arus yang menghasilkan dc, misal konverter setengah-gelombang, tidak diperbolehkan.						
Semua peralatan pembangkit listrik terbatas pada nilai-nilai distorsi saat terlepas dari bernilai I_{SC}/I_L .						
I_{SC} = hubungan singkat maksimum di PCC						
I_L = maksimum arus beban permintaan (komponen frekuensi fundamental) di PCC						

Tabel 2.2 Limitasi Distorsi Tegangan Harmonisa Sesuai Standar IEEE 519-1992

Tegangan Bus di PCC	Distorsi Tegangan Individu(%)	THD (%)
69 kV kebawah	3,0	5,0
69,001 kV sampai 161 kV	1,5	2,5
161,001 kV keatas	1,0	1,5

2.3.6 Filter Harmonisa^{[1] [4] [5]}

Secara umum filter harmonisa dalam sistem tenaga dibedakan menjadi filter pasif dan filter aktif. Filter harmonisa digunakan untuk mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dalam sistem yang terdapat konverter, harmonisa arus dicegah memasuki sistem yang lain dengan menyediakan jalur yang memiliki impedansi rendah pada frekuensi harmonisa.

Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa keseluruh sistem dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem.

2.3.6.1 Filter Pasif

Filter pasif merupakan salah satu metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga. Ada dua macam filter pasif yaitu filter pasif seri dan filter pasif paralel. Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi paralel dan merupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang, yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sebagai contoh adalah penggunaan komponen penghalus atau perata gelombang pada peralatan elektronika daya. Sedangkan filter pasif paralel memiliki karakteristik sebagai resonansi seri dan merupakan filter yang bertipe *trap* yang memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tertentu.

Filter pasif tersusun dari induktansi, kapasitansi, dan resistansi. Filter pasif ini mempunyai beberapa bentuk berdasarkan susunan rangkaian komponen penyusun. Secara umum filter pasif dapat dibedakan dalam tiga jenis :

- a. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*).
- b. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*).
- c. *High Pass Damp Filter Type*.

2.3.6.1.1. Filter Dengan Penalaan Tunggal

Filter dengan penalaan tunggal ditala pada salah satu orde harmonisa (pada orde frekuensi rendah). Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor. Impedansi dari rangkaian Gambar

2.11.a. dinyatakan dalam persamaan :

$$Z(w) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.30)$$

Faktor kualitas Q filter didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi atau kapasitansi pada resonansi dengan resistansi.

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (2.31)$$

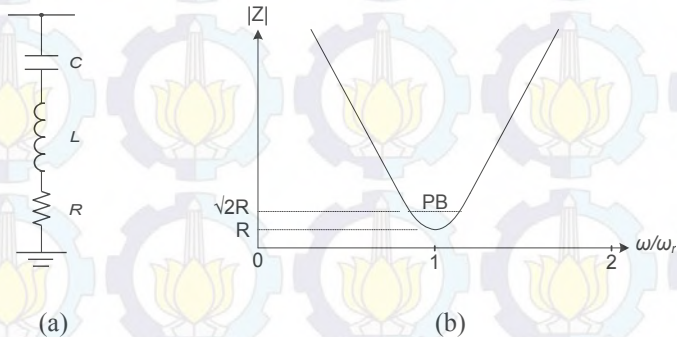
Pada frekuensi resonansi nilai reaktansi induktor atau kapasitor sebagai berikut :

$$X_0 = \omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.32)$$

Seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.11.b, *pass band* (PB) menyatakan batas frekuensi filter sama dengan nilai resistansi. Besar nilai impedansi sama dengan $\sqrt{R_0}$. Sedangkan hubungan faktor kualitas dan pass band (PB) dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = \frac{W_0}{PB} \quad (2.33)$$

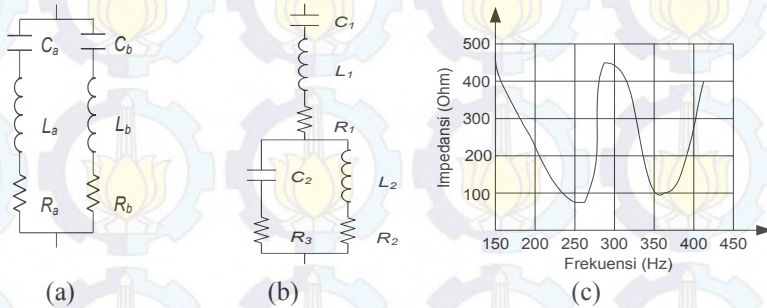
Dengan W_0 adalah penalaan frekuensi dalam rad/sec.



Gambar 2.11 (a) Rangkaian Filter Penalaan Tunggal (b) Grafik Impedansi Terhadap Frekuensi Filter Penalaan Tunggal

2.3.6.1.2 Filter Dengan Penalaan Ganda

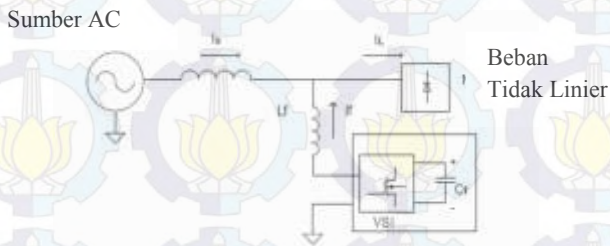
Sebuah impedansi ekivalen dari dua buah filter penalaan tunggal (ditunjukkan Gambar 2.12.a) yang memiliki frekuensi resonansi yang berdekatan. Konfigurasi sebuah filter penalaan ganda yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 b.




Gambar 2.12 Rangkaian Filter Penalaan Ganda (a) Transformasi dari Dua Buah Filter Penalaan Tunggal (b) Filter Penalaan Ganda (c) Impedansi Filter Penalaan Ganda yang ditala pada Orde Lima dan Tujuh

2.3.6.2 Filter Aktif Paralel

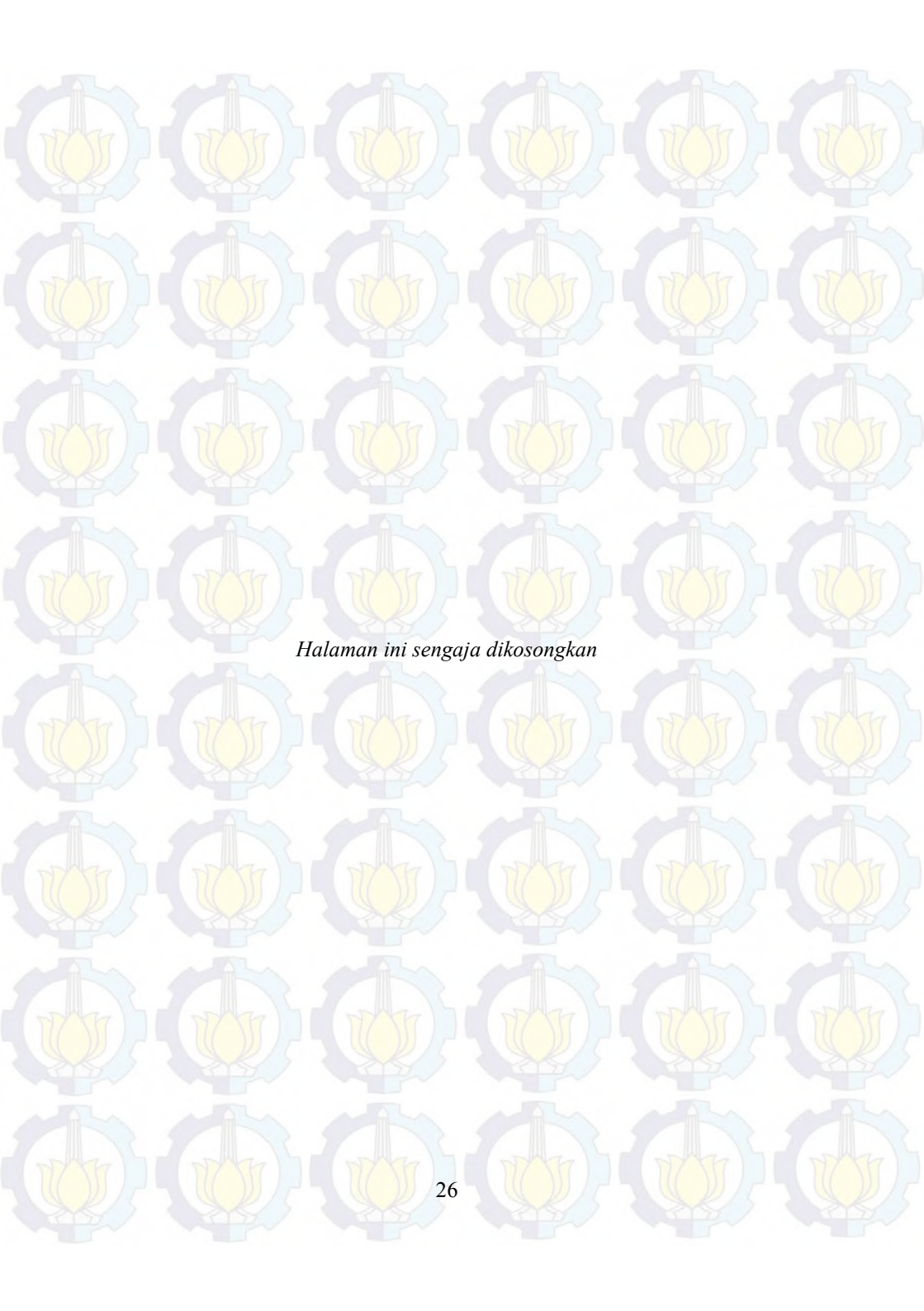
Filter daya aktif paralel terdiri dari sumber tegangan atau arus terkontrol. *Voltage Source Inverter* (VSI) adalah filter daya aktif paralel yang paling banyak digunakan karena merupakan topologi yang terkenal dan memiliki prosedur instalasi yang tidak sulit. Berikut inimenunjukkan prinsip konfigurasi dari filter daya aktif paralel dengan VSI, terdiri dari kapasitor sebagai terminal DC *switch* elektronika daya, dan induktor sebagai komponen *interface*.



Gambar 2.13 Blok Diagram Filter Daya Reaktif Paralel



Filter daya aktif paralel bertindak sebagai sumber arus, mengkompensasi arus harmonisa yang diakibatkan beban tidak linier. Prinsip dasar filter daya aktif paralel adalah menginjeksi arus kompensasi yang sama dengan arus terdistorsi atau arus harmonisa, sehingga arus yang asli terdistorsi dapat dieliminasi. Arus kompensasi dihasilkan sebagai komponen yang diinjeksikan untuk mengeliminasi arus harmonisa dengan menggunakan saklar VSI yaitu mengukur arus beban dan mengurangi arus beban dari referensi sinusoidal.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN *PLANT CPA JOB P-PEJ (CENTRAL PROCESSING AREA JOINT OPERATING BODY PERTAMINA – PETROCHINA EAST JAVA)*, TUBAN

3.1 Sistem Kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban.

Plant CPA JOB P-PEJ Tuban memiliki sistem kelistrikan yang di-supply oleh beberapa generator yang dapat dilihat di Tabel 3.1.

Berikut adalah data daya generator yang digunakan *Plant CPA JOB P- PEJ*, Tuban :

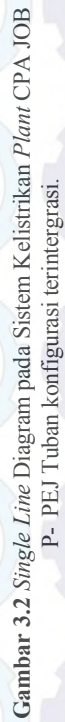
Tabel 3.1 Data Generator pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban.

No.	ID Generator	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Frekuensi
1.	CENT.TRBN BY CTRCTR(RENT)	2.5	4.16	60
2.	G.ENG GEN.G102-B	1	0.48	60
3.	G.ENG GEN.G102-C	1	0.48	60
4.	G.ENG GEN.G102-D	1	0.48	60
5.	GEN TG101-A	0.8	0.48	60
6.	GEN TG101-B	0.8	0.48	60
7.	GEN TG101-C	0.8	0.48	60
8.	GEN TG101-D	0.8	0.48	60
9.	CENT TRBN 2	2.5	4.16	60
10.	GEN SRU	0.8	0.48	60
11.	ONAN DIESEL ENG GEN	1.2	0.48	60

Berikut adalah gambaran sistem kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ* Tuban dalam bentuk *single line diagram* :



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* pada Sistem Kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ* Tuban konfigurasi belum terintegrasi.



Untuk selanjutnya *single line* diagram ini digunakan dalam tugas akhir dalam penyelesaian desain filter harmonisa.

3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban.*

Sistem distribusi tenaga listrik di *Plant CPA JOB P-PEJ* memiliki sistem kelistrikan yang di-supply oleh beberapa generator.

Distribusi daya di *Plant CPA JOB P-PEJ*, jenis trafo yang digunakan adalah jenis trafo dua belitan. Trafo tersebut digunakan untuk menyalurkan daya pada beban baik beban motor maupun beban yang lainnya. Data trafo dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini, dengan kondisi existing. Berikut ini adalah data transformator daya yang digunakan dalam kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ* :

Tabel 3.2 Data Trafomator pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban

No.	Transformator ID	Rating		
		MVA	Primer (kV)	Sekunder (kV)
1.	T-CENT 2	4	4.16	4.16
2.	TR-02-A	5	0.48	4.16
3.	TR-02-B	5	0.48	4.16
4.	TR-02-C	4	4.16	4.16
5.	TR-30 KVA	0.38	0.48	4.16
6.	TR-MCC5	2.5	4.16	0.48
7.	TR-MD-A	5	4.16	0.48
8.	TR-MD-B	5	4.16	13.8
9.	TR-MD-B1	5	13.6	0.48
10.	TR-MD-C	5	4.16	13.8
11.	TR-MD-C1	1.25	13.8	0.48
12.	TR-MD E	5	0.48	4.16

3.3 Beban Pada Sistem Kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban.*

Beban kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban terdiri beberapa beban berikut :

- Motor

Plant CPA JOB P-PEJ, Tuban memiliki banyak motor listrik yang termasu jenis motor induksi. Motor-motor tersebut

memiliki peran yang bervariasi dalam menunjang proses produksi beban. motor ini dikelompokkan ke *MCC (Motor Control Center)*.

- *Lumped Load*

Digunakan untuk kegiatan operasional di *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban.

Berikut adalah data beban – beban motor yang terdapat pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban :

Tabel 3.3 Data Beban Motor pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban

No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
1.	MOTOR MCC 4-1	RADIATOR FAN 4-1	30
		M201-501	55
2.	MOTOR MCC 4-2	RADIATOR FAN 4-2	30
		M201-501 4-2	55
3.	MOTOR MCC 4-3	RADIATOR FAN 4-3	30
		M201-501 4-3	55
4.	MOTOR MCC 4-4	RADIATOR FAN 4-4	30
		M201-501 4-4	55
5.	MCC 1-2	M-PP1150-A	186.5
		M-PP1150-B	186.5
		M-PP1150-C	186.5
		M-PP1150-D	186.5
6.	MCC 5	PP 600 A	74.6
		PP 600 B	74.6
		CP-9400	82
		Mtr 385	330
7.	MCC PAD B	MUDI B02A	119.3
		MUDI B05	119.3
		MUDI B09	119.3
		MUDI B15	119.3
		MUDI B17	74.6

Tabel 3.3 Data Beban Motor pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban (lanjutan)

No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
7.	MCC PAD B	MUDI B18	238.7
		MUDI B23	238.7
		MUDI B24	119.3
8.	MCC PAD C	MUDI C13	74.6
		MUDI C20	238.7
		MUDI C7	74.6
9	MCC WTR DSPL ext	MTR WTR DSPL 1	283.4
10.	PAD A	MUDI A1	298.4
		MUDI A19	74.6
11.	MCC 1-1	M-PP-1170-A	112
		M-PP-1170-B	112
		M-PP-1170-C	112
		M-PP-1170-D	112
12.	PROCESS PLANT	CP-9300 A	74.6
		CP-9300 B	74.6
		FL-200	30
		FL-300	45
		PP-3310 A	45
		PP-3310 B	45
		PP-3310 C	45
		PP-500 A	45
		PP-500 B	45
		PP-500 C	42.5
		PP-500 D	42.5
		PP-7031 A	30
		PP-7031 B	30
		PP-9610 B	42.5

Tabel 3.3 Data Beban Motor pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban (lanjutan)

No.	INSTRUMENT	ID	Daya (kW)
14.	NEW PUMP	NEW P1	448
		NEW P2	448
		NEW P3	448
		NEW P4	448
15.	PUMP	S-PUMP PP-8300-A	448
		S-PUMP PP-8300-B	336
		PP-8400-A	373

3.4 Sumber Harmonisa di *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban.

Pada dasarnya harmonisa disebabkan oleh adanya beban-beban nonlinier di sistem kelistrikan pabrik. Distorsi harmonisa yang terjadi pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban merupakan kontribusi dari *Variable Speed Drive* (VSD). Hal tersebut menyebabkan *Total Harmonic Distortion* (THD) maupun *Individual Harmonic Distortion* (IHD) arus dan tegangan melebihi standar IEEE 519-1992.

Tabel 3.4 Data Kemampuan *VFD* pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban.

No	ID	Beban Motor	Daya (kW)
1.	VFD-#MUDI A1	MUDI A1	238.72
2.	VFD-#MUDI A19	MUDI A19	238.72
3.	VFD-#MUDI B02A	MUDI B02A	238.72
4.	VFD-#MUDI B09	MUDI B09	238.72
5.	VFD-#MUDI B15	MUDI B15	238.72
6.	VFD-#MUDI B18	MUDI B18	238.72
7.	VFD-#MUDI B24	MUDI B24	238.72
8.	VFD-#MUDI C13	MUDI C13	238.72

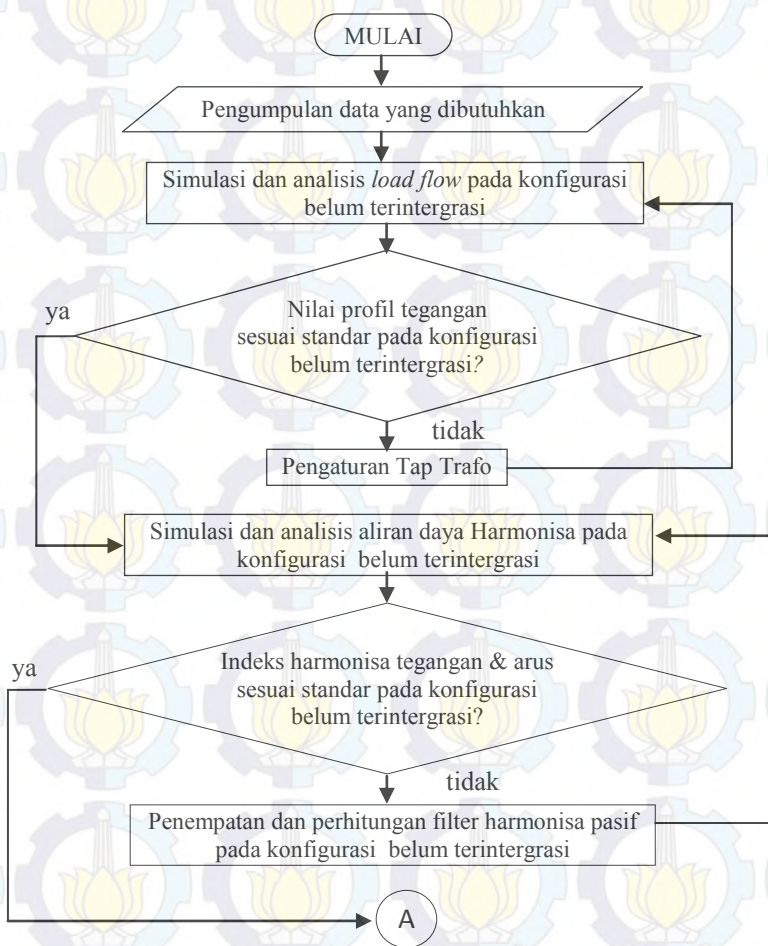
Tabel 3.4 Data Kemampuan *VFD* pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban.
(lanjutan)

No	ID	Beban Motor	Daya (kW)
9.	VFD-#MUDI C20	MUDI C20	238.72
10.	VFD-#MUDI C7	MUDI C7	74.6
11.	VSD#MUDI B05	MUDI B05	238.72
12.	VSD#MUDI B17	MUDI B17	238.72
13.	VSD#MUDI B23	MUDI B23	238.72
14.	VFD 123	MTR 385	246.18

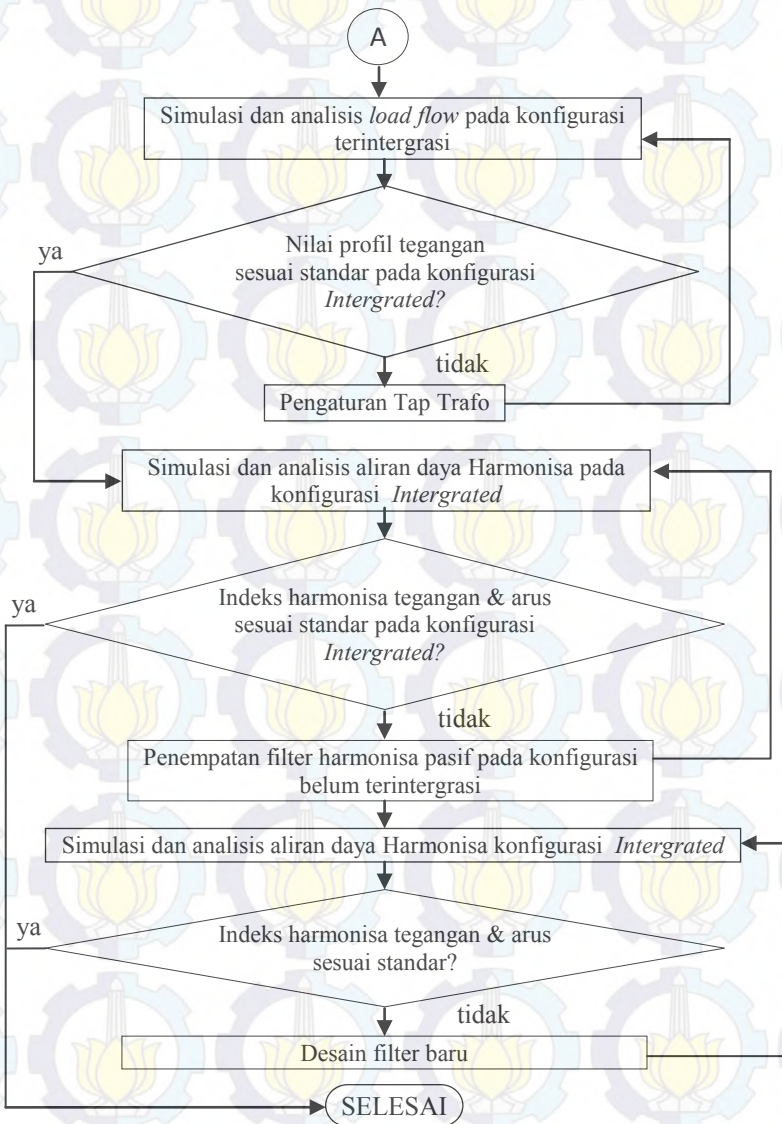
3.5 Langkah - Langkah Peredaman Harmonisa di *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban

Tujuan yang ingin didapatkan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah melaksanakan studi mengenai penentuan peralatan untuk meredam harmonisa pada sistem kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban dengan mengidentifikasi karakteristik harmonisa terlebih dahulu. Metode yang digunakan pada penyelesaian kasus dalam tugas akhir ini diawali dengan pengumpulan dan melengkapi data *Single Line Diagram (SLD)*, *datasheet* peralatan, dan referensi-referensi ilmiah. Data-data yang terkumpul ini selanjutnya memasuki tahap pemodelan sistem menggunakan *software* ETAP 7.5. Pemodelan ini menganalisis aliran daya dan harmonisa yang terjadi pada sistem kelistrikan di *Plant CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java)*, Tuban.

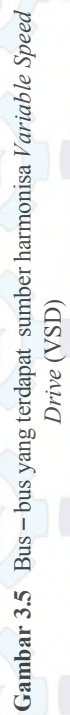
Dari hasil analisis aliran daya, dapat dilihat kondisi profil tegangan dan faktor daya pada bagian bus beban, sedangkan dari analisis harmonisa dilihat besarnya distorsi harmonisa yang terjadi pada bus-bus yang berdekatan dengan sumber harmonisa berupa VSD, terutama pada sisi tegangan rendah. Dengan analisis tersebut didapatkan karakteristik harmonisa baik dari segi orde harmonisa yang dominan dan magnitude tiap orde harmonisa. Alur metodologi peredaman harmonisa dalam tugas akhir ini dapat digambarkan dalam *flow chart* pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.3 *Flowchart* Metodologi Peredaman Harmonisa di *Plant CPA JOB P-PEJ*.



Gambar 3.4 Flowchart Metodologi Peredaman Harmonisa di Plant CPA JOB P-PEJ.



Gambar 3.5 merupakan acuan lokasi pengukuran sesuai dengan data sekunder yang dijadikan rujukan pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu juga didapatkan data sekunder hasil pengukuran langsung sesuai Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Data Sekunder Harmonisa Tegangan pada *Plant CPA JOB P-PEJ*, Tuban.

Lokasi Pengukuran	Tegangan	
	RMS (A)	THD(%)
MCC PAD A	0.48	9.63
BB MCC PAD-B	0.48	8.73
BB MCC PAD C	0.48	9.55
MCC5.2	0.48	6.49

Adapun data lengkap hasil pengukuran harmonisa Tabel 3.5 dapat dilihat pada lampiran.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL SIMULASI

Pada *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban. ini berfokus pada perbaikan daya, peredaman dan penghilangan frekuensi harmonisa yang timbul. Perbaikan faktor tersebut dilakukan dengan cara menjalankan simulasi dari sistem tersebut dan melakukan analisis terhadap peristiwa yang terjadi. Untuk melakukan hal tersebut, dilakukan beberapa tahap agar bisa mendukung dalam proses analisa dalam bab ini. Hal yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menjalankan simulasi aliran daya dari sistem kelistrikan di *plant* CPA JOB P-PEJ.
2. Melakukan simulasi harmonisa yang terjadi pada *plant* tersebut dan berfokus terhadap bus-bus yang memang memiliki motor dengan menggunakan VFD, yaitu bus MCC PAD A, BB MCC PAD C, BB MCC PAD-B, dan MCC5.2. hal tersebut dilakukan pada *plant* CPA JOB P-PEJ dengan konfigurasi belum terintergrasi dan terintergrasi.
3. Melakukan pemasangan filter harmonisa pada bus-bus yang disebutkan pada poin 2. Spesifikasi dari filter disesuaikan dengan kebutuhan pada bus saat konfigurasi belum terintergrasi.
4. Setelah dilakukan pemasangan filter, dilakukan analisa perbandingan harmonisa setelah dipasang filter dan sebelum pemasangan untuk melihat kinerja dari filter yang terpasang.

4.1 Simulasi Sistem Kelistrikan di *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban.

Dalam menjalankan simulasi, *software* simulasi yang digunakan adalah ETAP Power Station 7.5. akan dibagi menjadi empat bagian penting untuk mengetahui seberapa besar frekuensi harmonisa yang mendistorsi pada sistem. Proses analisa frekuensi harmonisa akan berfokus terhadap bus MCC PAD A, BB MCC PAD C, BB MCC PAD-B, dan MCC5.2 (*water disposal*) karena pada bus inilah yang terdapat motor kapasitas besar yang dikontrol dengan menggunakan VFD. Hal yang akan dilakukan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Simulasi sistem kelistrikan pada plant menggunakan konfigurasi belum terintergrasi tanpa penambahan filter harmonisa.
2. Simulasi sistem kelistrikan pada plant menggunakan konfigurasi belum terintergrasi dengan menggunakan penambahan filter pada bus yang telah disebutkan.
3. Simulasi sistem kelistrikan pada plant menggunakan konfigurasi terintergrasi tanpa penambahan filter harmonisa.
4. Analisa harmonisa simulasi sistem kelistrikan pada plant menggunakan konfigurasi terintergrasi dengan menggunakan penambahan filter yang telah didesain sebelumnya pada bus yang telah disebutkan. dilihat kinerja dari filter apakah masih tetap bisa mengatasi distorsi harmonisa.

4.2 Kondisi Eksisting Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintergrasi.

Berdasarkan hasil simulasi *load flow*, berikut adalah tabel nilai profil tegangan di tiap bus pada sistem kelistrikan *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body* Pertamina – Petrochina East Java), Tuban. konfigurasi belum terintergrasi.

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *plant* CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum Terintergrasi.

Nama Bus	kV nominal	%V <i>Operating</i>	% V standar
2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	99.720	98-102%
ARTIFICIAL BUS	4.16	98.825	98-102%
BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	98.825	98-102%
BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	98.835	98-102%
BB MCC 4-1	0.48	99.913	98-102%
BB MCC 4-2	0.48	99.913	98-102%
BB MCC 4-3	0.48	99.913	98-102%
BB MCC 4-4	0.48	99.913	98-102%
BB MCC PAD-B	0.48	99.309	98-102%
BB MCC PAD C	0.48	99.557	98-102%
BB-SP-A-1	4.16	98.766	98-102%
BB-SP-B-1	4.16	98.786	98-102%

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *plant* CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum Terintegrasi (lanjutan).

Nama Bus	kV nominal	%V <i>Operating</i>	% V standar
B-IN TR-02-C	4.16	98.825	98-102%
B-IN TR-MD-A	4.16	99.595	98-102%
B-IN TR-MD-B	4.16	98.759	98-102%
B-IN TR-MD-C	4.16	98.808	98-102%
B-IN TR-MD-C1	13.8	98.572	98-102%
B-IN TR-MD-E	0.48	100.000	98-102%
B-OUT TR-02-C	4.16	99.958	98-102%
B-OUT TR-30KVA	0.22	99.913	98-102%
B-OUT TR-MD-B	13.8	100.658	98-102%
B-OUT TR-MD-B1	0.48	99.971	98-102%
B-OUT TR-MD-C1	0.48	99.899	98-102%
B-OUT TR-MD-E	4.16	99.745	98-102%
Bus327-1	4.16	98.755	98-102%
Bus349-1	4.16	98.815	98-102%
Bus357	4.16	99.001	98-102%
Bus358	4.16	99.070	98-102%
Bus359	4.16	99.941	98-102%
Bus361	4.16	100.000	98-102%
Bus368	0.48	99.284	98-102%
Bus372	0.48	101.177	98-102%
Bus-11.1	0.48	100.000	98-102%
Bus-14-15	0.48	99.913	98-102%
Bus-16-17'	0.48	99.913	98-102%
Bus-19-20'	0.48	99.913	98-102%
Bus-23-24'	0.48	99.913	98-102%
Bus-25-26'	0.48	99.913	98-102%
Bus SRU	0.48	99.309	98-102%
LV-SWGR-01-3500A	0.48	100.000	98-102%
LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	99.913	98-102%
LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	99.913	98-102%

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *plant* CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum Terintergrasi (lanjutan).

Nama Bus	kV nominal	%V <i>Operating</i>	% V standar
MCC5.2	0.48	100.080	98-102%
MCC PAD A	0.48	98.682	98-102%
MCC WTR DSPSL	0.48	100.000	98-102%
MV-SWGR-2-A	4.16	98.826	98-102%
MV-SWGR-2-B	4.16	98.801	98-102%
MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	98.825	98-102%
MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	98.825	98-102%
MV-SWGR-06-2500A	4.16	100.000	98-102%
MV-SWGR-04 1250A	13.8	100.405	98-102%
MV-SWGR-05 1250A	13.8	98.466	98-102%
PROCESS PLANT	0.48	100.000	98-102%
SRU BLOWER	0.48	100.000	98-102%
SRU FILTER PRES/ETC	0.48	100.000	98-102%
SRU SOLUTION	0.48	100.000	98-102%
WTR DISPOSAL	4.16	98.826	98-102%

Berdasarkan standar ANSI dan aturan jaringan tenaga listrik, nilai tegangan operasi yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$ ($95 - 105\%$), namun dari ETAP sendiri ada batas marginal $\pm 2\%$ ($98 - 102\%$), sehingga akan lebih baik apabila kita menggunakan batas $\pm 2\%$. Dari Tabel 4.1 dapat dilihat semua bus memiliki nilai tegangan yang memenuhi standar sehingga tidak diperlukan perbaikan tegangan.

4.3 Data - Data Bus Hasil Simulasi Harmonisa dengan Konfigurasi Belum terintergrasi.

Analisis harmonisa di *plant* CPA JOB P-PEJ konfigurasi belum terintergrasi menggunakan ETAP 7.5. Setelah dilakukan *running harmonic load flow*, akan didapatkan nilai harmonisa arus dan harmonisa tegangan. Harmonisa arus diamati pada kabel yang berada diantara peralatan transformator dan beban sedangkan untuk harmonisa tegangan dilihat dari bus yang ingin kita amati.

4.3.1 Harmonisa Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintegrasi.

Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintegrasi Sebelum di Filter.

No	Nama Bus	Nominal kV	Indeks THD _v	Standard THD _v (%)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	5.14	5
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	3.14	5
3	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	5
4	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	5
5	BB MCC 4-1	0.48	2.49	5
6	BB MCC 4-2	0.48	2.49	5
7	BB MCC 4-3	0.48	2.49	5
8	BB MCC 4-4	0.48	2.49	5
9	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	5
10	BB MCC PAD C	0.48	9.55	5
11	BB-SP-A-1	4.16	3.12	5
12	BB-SP-B-1	4.16	3.12	5
13	B-IN TR-02-C	4.16	3.14	5
14	B-IN TR-MD-A	4.16	5.48	5
15	B-IN TR-MD-B	4.16	3.24	5
16	B-IN TR-MD-C	4.16	3.17	5
17	B-IN TR-MD-C1	13.8	4.22	5
18	B-IN TR-MD-E	0.48	3.24	5
19	B-OUT TR-02-C	4.16	2.30	5
20	B-OUT TR-30KVA	0.22	2.49	5
21	B-OUT TR-MD-B	13.8	5.03	5
22	B-OUT TR-MD-B1	0.48	7.53	5
23	B-OUT TR-MD-C1	0.48	8.80	5
24	B-OUT TR-MD-E	4.16	5.07	5
25	Bus327-1	4.16	3.13	5

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintegrasi Sebelum di Filter (lanjutan).

No	Nama Bus	Nominal kV	Indeks THD _v	Standard THD _v (%)
26	Bus349-1	4.16	3.14	5
27	Bus357	4.16	3.05	5
28	Bus358	4.16	3.05	5
29	Bus359	4.16	2.31	5
30	Bus361	4.16	2.29	5
31	Bus368	0.48	7.78	5
32	Bus372	0.48	4.41	5
33	Bus-11.1	0.48	3.24	5
34	Bus-14-15	0.48	2.49	5
35	Bus-16-17'	0.48	2.49	5
36	Bus-19-20'	0.48	2.49	5
37	Bus-23-24'	0.48	2.49	5
38	Bus-25-26'	0.48	2.49	5
39	Bus SRU	0.48	8.73	5
40	LV-SWGR-01-3500A	0.48	3.24	5
41	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	2.49	5
42	LV-SWGR-02-B	0.48	2.49	5
43	MCC5.2	0.48	6.50	5
44	MCC PAD A	0.48	9.63	5
45	MCC WTR DSPSL	0.48	3.24	5
46	MV-SWGR-2-A	4.16	3.13	5
47	MV-SWGR-2-B	4.16	3.14	5
48	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	3.14	5
49	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	3.14	5
50	MV-SWGR-06-2500A	4.16	2.28	5
51	MV-SWGR-04 1250A	13.8	5.32	5
52	MV-SWGR-05 1250A	13.8	4.35	5
53	PROCESS PLANT	0.48	3.24	5

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintegrasi Sebelum di Filter (lanjutan).

No	Nama Bus	Nominal kV	Indeks THD _v	Standard THD _v (%)
54	SRU BLOWER	0.48	3.24	5
55	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	3.24	5
56	SRU SOLUTION	0.48	3.24	5
57	WTR DISPOSAL	4.16	3.13	5

Dari data yang terdapat pada Tabel 4.2, terlihat bahwa bus pada sistem kelistrikan *plant* CPA JOB P-PEJ dengan konfigurasi belum terintegrasi ada yang terpegaruh dampak dari distorsi harmonisa yang timbul pada bus yang terdapat VFD. Bus yang terkena dampak harmonisa tersebut memiliki nilai THD_v yang melebihi batas ambang normal yang diperbolehkan sesuai dengan standard IEEE Std 519-1992 dimana batas minimal THD untuk sistem kelistrikan dengan level tegangan 69 kV ke bawah adalah sebesar 5%.

Tabel 4.3 Data Bus yang Merupakan Sumber harmonisa.

No	Nama Bus	V (kV)	THD _v data sekunder	THD _v simulasi	Standard THD _v (%)
1	MCC PAD A	0.48	9.63	9.63	5
2	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	8.73	5
3	BB MCC PAD C	0.48	9.55	9.55	5
4	MCC5.2	0.48	6.49	6.50	5

Sumber harmonisa dapat dilihat pada bus yang berisikan motor yang dikontrol oleh VFD seperti pada bus MCC PAD A, BB MCC PAD C, BB MCC PAD-B, dan MCC5.2 (*water disposal*). Oleh karena itu yang akan jadi fokus perhatian dan peletakan filter pasif yang akan didesaian adalah bus – bus sumber harmonisa.

Nilai dari individual tegangan bus sumber harmonisa juga dapat dilihat pada Tabel 4.4 Nilai individual arus bisa disebut dengan IHD_v (*Individual Harmonic Distortion Voltage*).

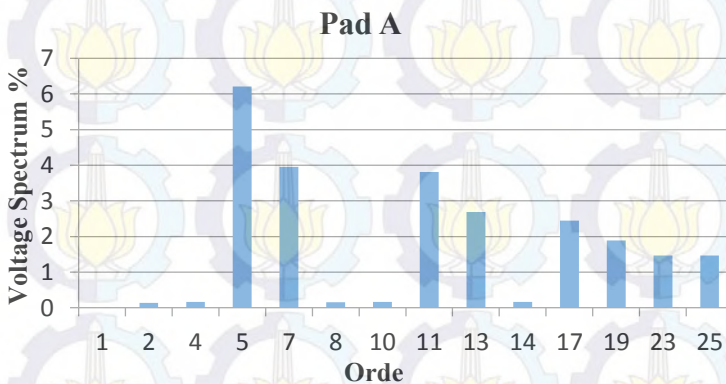
Tabel 4.4 Data IHD_v Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Belum Terintegrasi *Plant CPA JOB P-PEJ*.

No	Nama Bus	Nominal kV	Indeks IHD _v	Orde
1	BB MCC PAD C	0.48	7.49	5

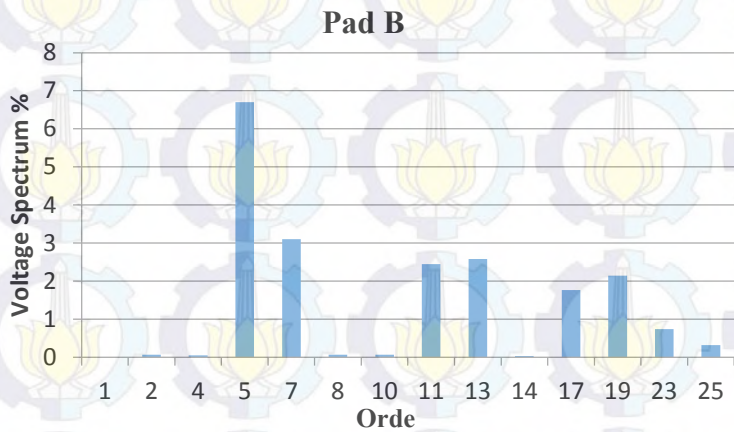
Tabel 4.4 Data IHD_V Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Belum Terintegrasi
Plant CPA JOB P- (lanjutan).

No	Nama Bus	Nominal kV	Indeks IHD_V	Orde
2	BB MCC PAD-B	0.48	6.70	5
3	MCC PAD A	0.48	6.20	5
4	MCC5.2	0.48	3.23	5
5	MCC PAD A	0.48	3.95	7
6	MCC5.2	0.48	3.88	7
7	BB MCC PAD C	0.48	3.18	7
8	BB MCC PAD-B	0.48	3.09	7
9	MCC PAD A	0.48	3.80	11

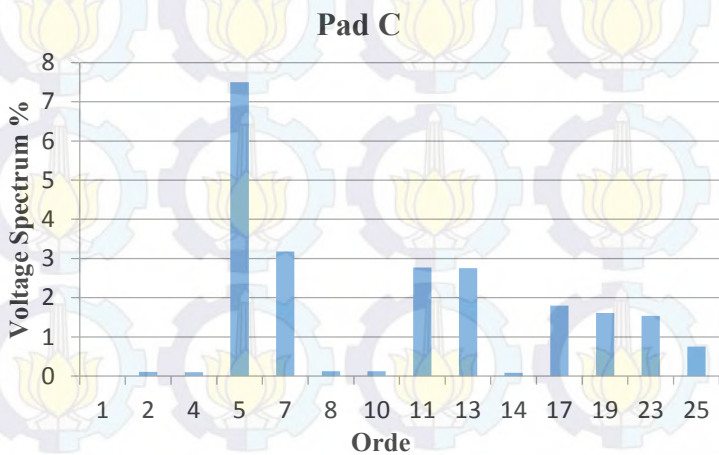
Grafik batang dari individual tegangan bus sumber harmonisa juga dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.



Gambar 4.1 Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad A.

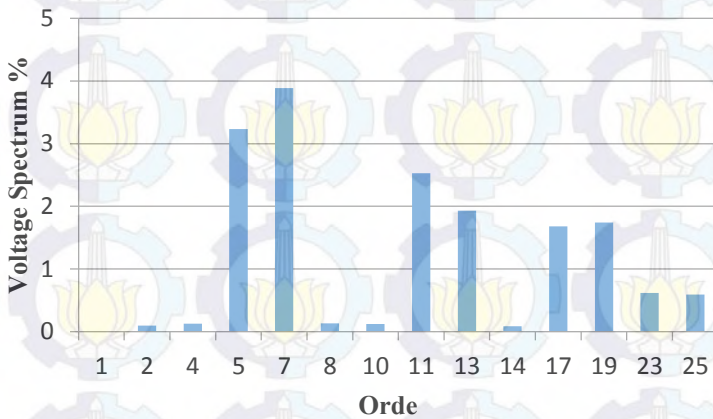


Gambar 4.2 Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad B.



Gambar 4.3 Spektrum Harmonisa Tegangan Pada Pad C.

MCC 5.2



Gambar 4.4 Spektrum Harmonisa Tegangan Pada MCC 5.2.

4.3.2 Harmonisa Arus dengan Konfigurasi Belum Terintegrasi.

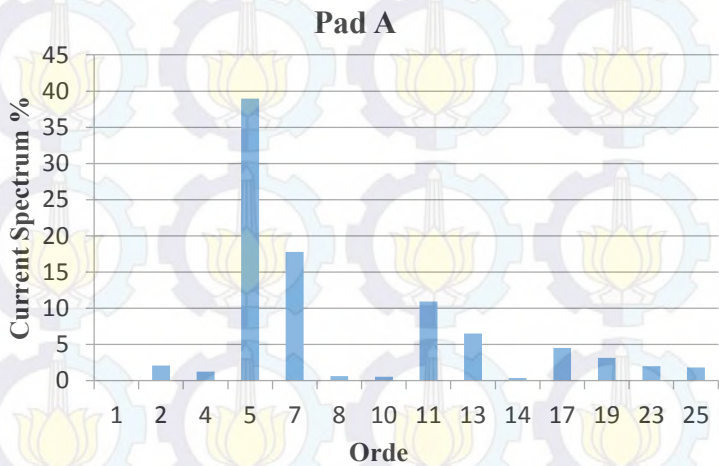
Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintegrasi Sebelum di Filter.

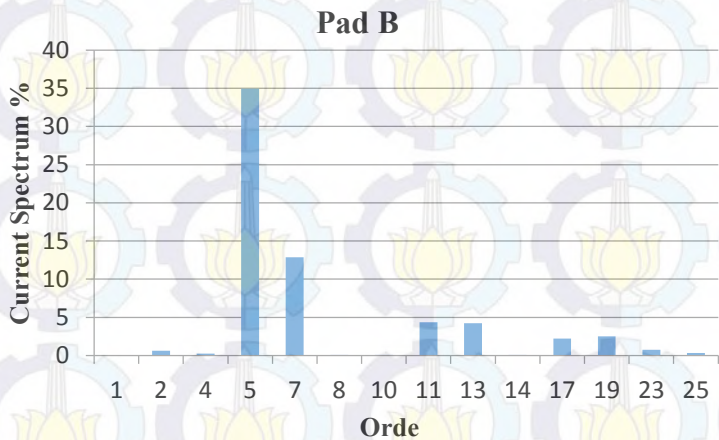
Nama Trafo	Nama Kabel	Isc (kA)	IL (A)	Isc/IL	Standar THD ₁	THD ₁ (%)
T-CENT 2	Cable 144	10	363	27.55	8	4.92
TR-02-B	P – 021	10	182.9	54.67	12	3.42
TR-02-C	Cable 146	10	363	27.55	8	4.92
TR-MCC5	Wtr Dspsl	22.7	639.7	35.49	8	38.96
TR-MD-A	Pad A	13.47	388	34.7	8	45.19
TR-MD-B1	Pad B	26.8	937.8	28.57	8	37.38
TR-MD-C1	Pad C	15.2	493.7	30.79	8	39.64
TR-MD E .	Cable H-018	3	44.8	66.96	12	45.19

Berdasarkan Tabel 4.5, terdapat 5 titik harmonisa arus yang memiliki tingkat distorsi yang melebihi standar IEEE Std. 519-1992.

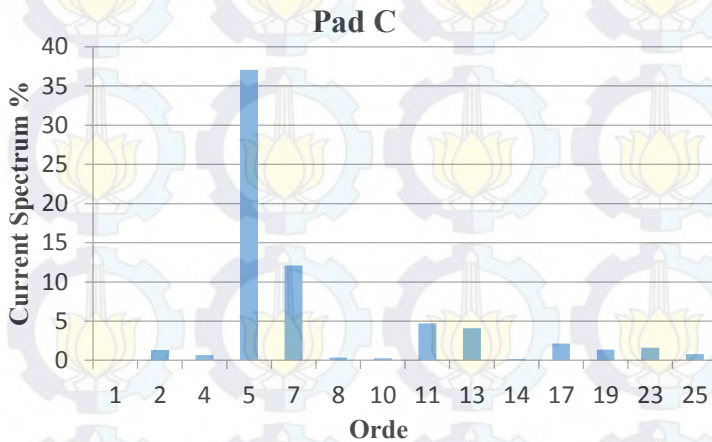
Grafik batang dari individual arus bus sumber harmonisa juga dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.8.



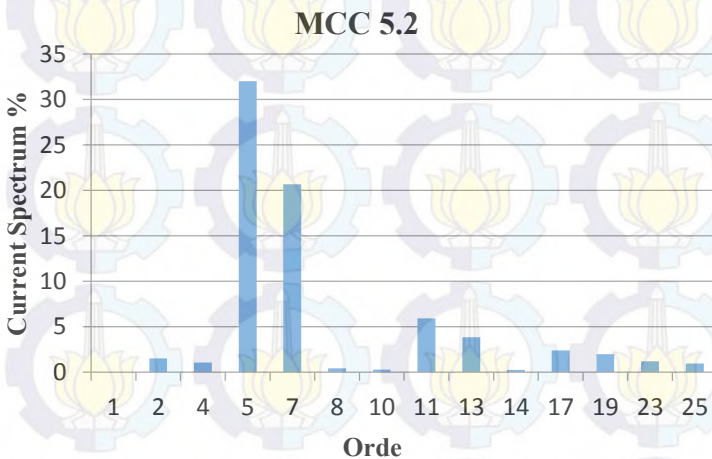
Gambar 4.5 Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad A.



Gambar 4.6 Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad B.



Gambar 4.7 Spektrum Harmonisa Arus Pada Pad C.



Gambar 4.8 Spektrum Harmonisa Arus Pada MCC5.2.

4.4 Perhitungan Spesifikasi Filter Harmonisa.

Untuk mengatasi masalah yang terjadi, perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi dari filter yang akan digunakan dan dihitung spesifikasi filter berdasarkan orde yang diperlukan.

Penggunaan filter harmonisa pasif untuk sistem yang memiliki peralatan yang mengandung sumber harmonisa, sebaiknya kompensasi daya reaktif untuk perbaikan faktor daya dipasang sebagai filter harmonik sehingga selain dapat memperbaiki faktor daya sistem juga dapat digunakan sebagi penyerap arus harmonik yang ada di sistem.

Sebelum melakukan perencanaan filter single-tuned maka terlebih dahulu mengetahui karakteristik impedansi filter single tuned. Kemudian mengetahui nilai indeks THD dan IHD tegangan pada bus yang akan dipasang filter. Setelah itu langkah berikutnya adalah menentukan orde harmonisa tegangan yang paling dominan, nilai frekuensi dari orde yang paling dominan tersebut kemudian dipilih sebagai frekuensi untuk *tuning*.

Setelah menentukan frekuensi tuning, selanjutnya menentukan besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki power faktor. Direncanakan filter dipasang dalam hubungan *wye-connection* dengan perhitungan komponen filter adalah sebagai berikut.

Perbaikan Faktor Daya

$$\Delta Q = P [\tan(\cos^{-1} \varphi_{awal}) - \tan(\cos^{-1} \varphi_{target})] \quad (4.1)$$

Kapasitor (C)

$$kVAR = \frac{V_L - I^2}{X_C} \quad (4.2)$$

$$kVAR = V_L - I^2 \times \omega_0 C \quad (4.3)$$

$$C = \frac{kVAR}{V_L - I^2 \times \omega_0} \quad (4.4)$$

Induktor (L)

$$X_L = X_C = X_0 \quad (4.5)$$

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n \times C} \quad (4.6)$$

$$X_L = \omega_0 L \quad (4.7)$$

Resistor (R)

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (4.8)$$

$$R = \frac{X_0}{Q} \quad (4.9)$$

Nilai faktor kualitas atau Q berdasarkan standar, berkisar antara 30-60, dimana semakin besar nilai faktor kualitas, maka nilai resistansi

pada induktor akan semakin kecil sehingga rugi-rugi pada filter harmonisa juga menjadi semakin kecil.

Filter harmonisa pasif akan ditempatkan di bus-bus yang nilai indeks harmonisa tegangan dan harmonisa arusnya belum memenuhi standar IEEE 519-1992.

4.4.1 Desain Filter Harmonisa Pasif.

a. PAD A (Panel SDP 3 & SDP 2).

a. Single Tuned Orde 5, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 300 Hz.

PF sebelum 91% PF sesudah 95%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 291 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 291 \times (\tan(\cos^{-1} 0.91) - \tan(\cos^{-1} 0.95)) \\ &= 36.9 \text{ KVar}\end{aligned}$$

KVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 36.9 Kvar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{KVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{36.9 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 425.46 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 300)^2 \times 425.46 \mu F} = 0.662 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.662 \text{ mH} = 0.249 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.249}{60} = 0.004 \Omega$$

b. Single Tuned Orde 7, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 420 Hz.

PF sebelum 95% PF sesudah 98%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 291 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 291 \times (\tan(\cos^{-1} 0.95) - \tan(\cos^{-1} 0.98)) \\ &= 36.55 \text{ kVar}\end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 36.55 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{36.5 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 421.09 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 420)^2 \times 421.09 \mu F} = 0.341 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.341 \text{ mH} = 0.128 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.128}{60} = 0.002 \Omega$$

c. Single Tuned Orde 11, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 660 Hz.

PF sebelum 98 % PF sesudah 100 %

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 291 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 291 \times (\tan(\cos^{-1} 0.98) - \tan(\cos^{-1} 1)) \\ &= 59.09 \text{ KVar} \end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 59.09 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{L-1}^2 \times \omega_0} = \frac{59.09 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 680.64 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 660)^2 \times 680.64 \mu F} = 0.085 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.085 \text{ mH} = 0.032 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.032}{60} = 0.0005 \Omega$$

Table 4.6 Spesifikasi Filter Harmonisa PAD A.

Nama Bus	Tipe	Orde	V (kV)	C (μF)	X _L (H)	R (Ω)
PAD A (Panel SDP 3 & SDP 2)	Single Tuned Q = 60	5	0.48	425.46	0.249	0.004
		7	0.48	421.09	0.128	0.002
		11	0.48	680.64	0.032	0.0005

b. Control Room SRU (Outgoing to PAD B).

a. Single Tuned Orde 5, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 300 Hz.

PF sebelum 83.8% PF sesudah 91.5%

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 652 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 652 \times (\tan(\cos^{-1} 0.838) - \tan(\cos^{-1} 0.915)) \\ &= 137.06 \text{ KVar} \end{aligned}$$

KVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 137.06 KVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{KVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{137.06 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 1578.83 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 300)^2 \times 1578.83 \mu F} = 0.178 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.178 \text{ mH} = 0.067 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi Q = 60) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.067}{60} = 0.001 \Omega$$

b. Single Tuned Orde 7, frekuensi Tuning (ω_n) = 420 Hz.

PF sebelum 91.5% PF sesudah 99%

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 652 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 652 \times (\tan(\cos^{-1} 0.915) - \tan(\cos^{-1} 0.99)) \\ &= 194.58 \text{ kVar} \end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 194.58 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{194.58 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 2241.36 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 420)^2 \times 2241.36 \mu F} = 0.064 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.064 \text{ mH} = 0.024 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi Q = 60) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.024}{60} = 0.0004 \Omega$$

Table 4.7 Spesifikasi Filter Harmonisa PAD B.

Nama Bus	Tipe	Orde	V (kV)	C (μF)	X _L (H)	R (Ω)
PAD B	Single Tuned Q = 60	5	0.48	1578.83	0.067	0.001
		7	0.48	2241.36	0.024	0.0004

c. PAD C.

Setelah disimulasikan ditemukan bahwa pada bus PAD C memiliki harmonisa diatas standar. Tetapi karena terpasang filter

harmonic pada bus lain, PAD C terkena dampak penurunan harmonisa. Saat filter pada bus lain tidak bekerja, maka THD PAD C bernilai **9.55 %**, hal ini memerlukan pemasangan filter.

a. Single Tuned Orde 5, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 300 Hz.

PF sebelum 91.2% PF sesudah 95%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 373 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 373 \times (\tan(\cos^{-1} 0.912) - \tan(\cos^{-1} 0.95)) \\ &= 45.16 \text{ KVar}\end{aligned}$$

KVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 45.16 KVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{KVAR}{V_{L-l}^2 \times \omega_0} = \frac{45.16 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 520.24 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 300)^2 \times 520.24 \mu F} = 0.541 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.541 \text{ mH} = 0.204 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.204}{60} = 0.003 \Omega$$

b. Single Tuned Orde 7, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 420 Hz.

PF sebelum 95% PF sesudah 99%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 373 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 373 \times (\tan(\cos^{-1} 0.95) - \tan(\cos^{-1} 0.99)) \\ &= 69.44 \text{ kVar}\end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 69.44 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{L-l}^2 \times \omega_0} = \frac{69.44 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 799.97 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 420)^2 \times 799.97 \mu F} = 0.179 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.179 \text{ mH} = 0.067 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.067}{60} = 0.001 \Omega$$

Table 4.8 Spesifikasi Filter Harmonisa PAD C.

Nama Bus	Tipe	Orde	V (kV)	C (μF)	X _L (H)	R (Ω)
PAD C	Single Tuned Q = 60	5	0.48	520.24	0.204	0.003
		7	0.48	799.97	0.067	0.001

d. MCC5.2 (Water Injection Pump 1).

Setelah disimulasikan ditemukan bahwa pada bus MCC5.2 (Water Injection Pump 1)/ MCC WTR DSPSL (Water Injection Pump 1) memiliki harmonisa diatas standar berdasarkan. Tetapi karena terpasang filter harmonic pada bus lain, MCC WTR DSPSL terkena dampak penurunan harmonisa. Saat filter pada bus lain tidak bekerja, maka THD MCC5.2 bernilai 6.5 %, hal ini memerlukan pemasangan filter.

a. Single Tuned Orde 5, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 300 Hz.

PF sebelum 87.7% PF sesudah 93%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 469 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 469 \times (\tan(\cos^{-1} 0.877) - \tan(\cos^{-1} 0.93)) \\ &= 71.59 \text{ KVar}\end{aligned}$$

KVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 71.59 KVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{KVAR}{V_{l-l}^2 \times \omega_0} = \frac{71.59 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 824.68 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 300)^2 \times 824.68 \mu F} = 0.341 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.341 \text{ mH} = 0.128 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi Q = 60) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.128}{60} = 0.002 \Omega$$

b. Single Tuned Orde 7, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 420 Hz.

PF sebelum 93% PF sesudah 96%

$$\begin{aligned}\Delta Q &= 469 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 469 \times (\tan(\cos^{-1} 0.93) - \tan(\cos^{-1} 0.96)) \\ &= 48.56 \text{ kVar}\end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 48.56 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{L-l}^2 \times \omega_0} = \frac{48.56 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 559.45 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 420)^2 \times 559.45 \mu F} = 0.256 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.256 \text{ mH} = 0.096 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.096}{60} = 0.001 \Omega$$

c. Single Tuned Orde 11, frekuensi *Tuning* (ω_n) = 660 Hz.

PF sebelum 96 % PF sesudah 99 %

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 469 \times (\tan \theta_{\text{awal}} - \tan \theta_{\text{target}}) \\ &= 469 \times (\tan(\cos^{-1} 0.96) - \tan(\cos^{-1} 0.99)) \\ &= 69.96 \text{ KVar} \end{aligned}$$

kVar yang digunakan (Q_c) per fasa sebesar 69.96 kVar

Maka, nilai kapasitor sebagai komponen filter adalah

$$C = \frac{kVAR}{V_{L-l}^2 \times \omega_0} = \frac{69.96 \text{ kVAR}}{0.48^2 \times (2 \times 3.14 \times 60)} = 805.88 \mu F$$

nilai induktor sebagai komponen filter adalah

$$L = \frac{1}{\omega_n^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 660)^2 \times 805.88 \mu F} = 0.00007 \text{ mH}$$

$$X_L = \omega_0 L = (2 \times 3.14 \times 60) \times 0.00007 \text{ mH} = 0.027 \Omega$$

Dan komponen resistansi filternya (asumsi $Q = 60$) adalah

$$R = \frac{X_0}{Q} = \frac{0.034}{60} = 0.0004 \Omega$$

Table 4.9 Spesifikasi Filter Harmonisa VSD (Water Injection Pump 1).

Nama Bus	Type	Orde	V (kV)	C (μF)	X _L (H)	R (Ω)
MCC5.2 (Water Injection Pump 1)	Single Tuned Q = 60	5	0.48	824.68	0.128	0.002
		7	0.48	559.45	0.096	0.001
		11	0.48	805.88	0.027	0.0004

Dibawah ini adalah Tabel 4.10 berisi data lengkap filter harmonisa pasif yang dirancang untuk meredam gangguan harmonisa di *plant* CPA JOB P-PEJ pada kondisi belum terintergrasi. Filter harmonisa dipasang sebanyak 10 buah di 4 tempat yang berbeda.

Table 4.10 Tabulasi Lengkap Desain Filter Harmonisa Pasif.

Nama Bus	Tipe	Orde	V (kV)	C (μF)	X _L (H)	R (Ω)
PAD A (Panel SDP 3 & SDP 2)	Single Tuned Q = 60	5	0.48	425.46	0.249	0.004
		7	0.48	421.09	0.128	0.002
		11	0.48	680.64	0.032	0.0005
Control Room SRU (Outgoing to PAD B)	Single Tuned Q = 60	5	0.48	1578.83	0.067	0.001
		7	0.48	2241.36	0.024	0.0004
PAD C	Single Tuned Q = 60	5	0.48	520.24	0.204	0.003
		7	0.48	799.97	0.067	0.001
MCC5.2 (Water Injection Pump 1)	Single Tuned Q = 60	5	0.48	824.68	0.128	0.002
		7	0.48	559.45	0.096	0.001
		11	0.48	805.88	0.027	0.0004

4.4.2 Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Tegangan.

Berikut adalah Tabel 4.11 yang berisi tabulasi mengenai THD tegangan yang ada di setiap bus setelah filter harmonisa pasif dipasang pada kondisi belum terintergrasi.

Tabel 4.11 Data Perbandingan THD_V Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintergrasi.

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD _V (%)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	5.14	1.10	5
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	3.14	0.96	5
3	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	0.96	5

Tabel 4.11 Data Perbandingan THD_v Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintergrasi (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD _v (%)
4	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	0.96	5
5	BB MCC 4-1	0.48	2.49	0.65	5
6	BB MCC 4-2	0.48	2.49	0.65	5
7	BB MCC 4-3	0.48	2.49	0.65	5
8	BB MCC 4-4	0.48	2.49	0.65	5
9	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	2.51	5
10	BB MCC PAD C	0.48	9.55	2.82	5
11	BB-SP-A-1	4.16	3.12	0.96	5
12	BB-SP-B-1	4.16	3.12	0.96	5
13	B-IN TR-02-C	4.16	3.14	0.96	5
14	B-IN TR-MD-A	4.16	5.48	1.17	5
15	B-IN TR-MD-B	4.16	3.24	0.99	5
16	B-IN TR-MD-C	4.16	3.17	0.97	5
17	B-IN TR-MD-C1	13.8	4.22	1.27	5
18	B-IN TR-MD-E	0.48	3.24	0.69	5
19	B-OUT TR-02-C	4.16	2.30	0.71	5
20	B-OUT TR-30KVA	0.22	2.49	0.65	5
21	B-OUT TR-MD-B	13.8	5.03	1.49	5
22	B-OUT TR-MD-B1	0.48	7.53	2.20	5
23	B-OUT TR-MD-C1	0.48	8.80	2.62	5
24	B-OUT TR-MD-E	4.16	5.07	1.08	5
25	Bus327-1	4.16	3.13	0.96	5
26	Bus349-1	4.16	3.14	0.96	5
27	Bus357	4.16	3.05	0.94	5
28	Bus358	4.16	3.05	0.95	5
29	Bus359	4.16	2.31	0.84	5
30	Bus361	4.16	2.29	0.83	5
31	Bus368	0.48	7.78	1.66	5
32	Bus372	0.48	4.41	1.15	5
33	Bus-11.1	0.48	3.24	0.69	5

Tabel 4.11 Data Perbandingan THD_V Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintegrasi (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD_V (%)
34	Bus-14-15	0.48	2.49	0.65	5
35	Bus-16-17'	0.48	2.49	0.65	5
36	Bus-19-20'	0.48	2.49	0.65	5
37	Bus-23-24'	0.48	2.49	0.65	5
38	Bus-25-26'	0.48	2.49	0.65	5
39	Bus SRU	0.48	8.73	2.51	5
40	LV-SWGR-01-3500A	0.48	3.24	0.69	5
41	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	2.49	0.65	5
42	LV-SWGR-02-B	0.48	2.49	0.65	5
43	MCC5.2	0.48	6.50	1.49	5
44	MCC PAD A	0.48	9.63	2.03	5
45	MCC WTR DSPSL	0.48	3.24	0.69	5
46	MV-SWGR-2-A	4.16	3.13	0.96	5
47	MV-SWGR-2-B	4.16	3.14	0.96	5
48	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	3.14	0.96	5
49	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	3.14	0.96	5
50	MV-SWGR-06-2500A	4.16	2.28	0.71	5
51	MV-SWGR-04 1250A	13.8	5.32	1.57	5
52	MV-SWGR-05 1250A	13.8	4.35	1.30	5
53	PROCESS PLANT	0.48	3.24	0.69	5
54	SRU BLOWER	0.48	3.24	0.69	5
55	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	3.24	0.69	5
56	SRU SOLUTION	0.48	3.24	0.69	5
57	WTR DISPOSAL	4.16	3.13	0.96	5

Tabel 4.12 Data Perbandingan THD_V Di Bus Sumber Harmonisa Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintegrasi.

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD _V (%)
1	MCC PAD A	0.48	9.63	2.03	5
2	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	2.51	5
3	BB MCC PAD C	0.48	9.55	2.82	5
4	MCC5.2	0.48	6.50	1.49	5

Dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 di atas dapat diketahui bahwa THD tegangan (THD_V) pada semua bus beban mengalami penurunan dari keadaan awal saat sebelum pemasangan filter harmonisa pasif. Selain itu, nilai THD_V pada semua bus telah memenuhi standar IEEE 519-1992. Penurunan THD_V ini juga mengakibatkan turunnya IHD tegangan (IHD_V) dapat dilihat di Tabel. 4.13.

Tabel 4.13 Data Perbandingan IHD_V Di Bus Sumber Harmonisa Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Belum Terintegrasi.

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Orde	Standard THD _V (%)
1	BB MCC PAD C	0.48	7.49	0.46	5	3
2	BB MCC PAD-B	0.48	6.70	0.38	5	3
3	MCC PAD A	0.48	6.20	0.51	5	3
4	MCC5.2	0.48	3.23	0.35	5	3
5	MCC PAD A	0.48	3.95	0.18	7	3
6	MCC5.2	0.48	3.88	0.15	7	3
7	BB MCC PAD C	0.48	3.18	0.13	7	3
8	BB MCC PAD-B	0.48	3.09	0.06	7	3
9	MCC PAD A	0.48	3.80	0.09	11	3

4.4.3 Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Arus.

Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem setelah dipasang filter. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum terintergrasi Setelah Pemasangan Filter pasif.

Nama Trafo	Nama Kabel	Standar THD _i	Sebelum difilter	Sesudah difilter
T-CENT 2	Cable 144	8	4.92	0.37
TR-02-B	P - 021	12	3.42	1.22
TR-02-C	Cable 146	8	4.92	0.57
TR-MCC5	Wtr Dspsl	8	38.96	5.63
TR-MD-A	Pad A	8	45.19	6.20
TR-MD-B1	Pad B	8	37.38	5.62
TR-MD-C1	Pad C	8	39.64	5.82
TR-MD E .	Cable H-018	12	45.19	6.20

Berdasarkan Tabel 4.14, harmonisa arus yang memiliki tingkat distorsi yang melebihi standar IEEE Std. 519-1992 sudah bisa diturunkan tingkat harmonisnya dengan pemasangan filter pasif.

4.5 Kondisi Eksisting Tegangan dengan Konfigurasi Terintergrasi

Berdasarkan hasil simulasi *load flow*, berikut adalah Tabel 4.15 perbandingan nilai profil tegangan di tiap bus pada sistem kelistrikan *Plant CPA JOB P-PEJ* konfigurasi belum terintergrasi *dan* terintergrasi.

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *Plant CPA JOB P-PEJ* Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum terintergrasi *Dan* Terintergrasi.

Nama Bus	V (kV)	%V <i>Operating</i>		% V standard
		Belum terintergrasi	Terintergrasi	
2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	99.720	98.938	98-102%
ARTIFICIAL BUS	4.16	98.825	98.837	98-102%
BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	98.825	98.837	98-102%
BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	98.835	98.843	98-102%
BB MCC 4-1	0.48	99.913	99.502	98-102%
BB MCC 4-2	0.48	99.913	99.502	98-102%
BB MCC 4-3	0.48	99.913	99.502	98-102%

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *Plant* CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum terintergrasi *Dan* Terintergrasi (lanjutan).

Nama Bus	V (kV)	%V <i>Operating</i>		% V standard
		Belum terintergrasi	Terintergrasi	
BB MCC 4-4	0.48	99.913	99.502	98-102%
BB MCC PAD-B	0.48	99.309	99.326	98-102%
BB MCC PAD C	0.48	99.557	99.587	98-102%
BB-SP-A-1	4.16	98.766	98.877	98-102%
BB-SP-B-1	4.16	98.786	98.897	98-102%
B-IN TR-02-C	4.16	98.825	98.837	98-102%
B-IN TR-MD-A	4.16	99.595	98.812	98-102%
B-IN TR-MD-B	4.16	98.759	98.772	98-102%
B-IN TR-MD-C	4.16	98.808	98.821	98-102%
B-IN TR-MD-C1	13.8	98.572	98.584	98-102%
B-IN TR-MD-E	0.48	100.000	100.000	98-102%
B-OUT TR-02-C	4.16	99.958	99.959	98-102%
B-OUT TR-30KVA	0.22	99.913	99.502	98-102%
B-OUT TR-MD-B	13.8	100.658	100.672	98-102%
B-OUT TR-MD-B1	0.48	99.971	99.987	98-102%
B-OUT TR-MD-C1	0.48	99.899	99.912	98-102%
B-OUT TR-MD-E	4.16	99.745	99.012	98-102%
Bus327-1	4.16	98.755	98.892	98-102%
Bus349-1	4.16	98.815	98.837	98-102%
Bus357	4.16	99.001	99.944	98-102%
Bus358	4.16	99.070	100.000	98-102%
Bus359	4.16	99.941	99.120	98-102%
Bus361	4.16	100.000	98.944	98-102%
Bus368	0.48	99.284	98.499	98-102%
Bus372	0.48	101.177	101.303	98-102%
Bus-11.1	0.48	100.000	100.000	98-102%
Bus-14-15	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus-16-17'	0.48	99.913	99.502	98-102%

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi *Load Flow* Nilai Tegangan *Plant* CPA JOB P-PEJ Terhadap Nilai Standar Konfigurasi Belum terintergrasi Dan Terintergrasi (lanjutan).

Nama Bus	V (kV)	%V Operating		% V standard
		Belum terintergrasi	Terintegrasi	
Bus372	0.48	101.177	101.303	98-102%
Bus-11.1	0.48	100.000	100.000	98-102%
Bus-14-15	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus-16-17'	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus-19-20'	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus-23-24'	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus-25-26'	0.48	99.913	99.502	98-102%
Bus SRU	0.48	99.309	99.326	98-102%
LV-SWGR-01-3500A	0.48	100.000	100.000	98-102%
LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	99.913	99.502	98-102%
LV-SWGR-02-BB-"B"-5000A	0.48	99.913	99.502	98-102%
MCC5.2	0.48	100.080	100.208	98-102%
MCC PAD A	0.48	98.682	98.008	98-102%
MCC WTR DSPSL	0.48	100.000	100.000	98-102%
MV-SWGR-2-A	4.16	98.826	-	98-102%
MV-SWGR-2-B	4.16	98.801	-	98-102%
MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	98.825	98.837	98-102%
MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	98.825	98.837	98-102%
MV-SWGR-06-2500A	4.16	100.000	100.000	98-102%
MV-SWGR-04 1250A	13.8	100.405	100.420	98-102%
MV-SWGR-05 1250A	13.8	98.466	98.479	98-102%
PROCESS PLANT	0.48	100.000	100.000	98-102%
SRU BLOWER	0.48	100.000	100.000	98-102%
SRU FILTER PRES/ETC	0.48	100.000	100.000	98-102%
SRU SOLUTION	0.48	100.000	100.000	98-102%
WTR DISPOSAL	4.16	98.826	98.948	98-102%

Berdasarkan standar ANSI dan aturan jaringan tenaga listrik, nilai tegangan operasi yang diperbolehkan adalah $\pm 5\%$ (95 – 105 %),

namun dari ETAP sendiri ada batas marginal $\pm 2\%$ (98 – 102 %), sehinggalan akan lebih baik apabila kita menggunakan batas $\pm 2\%$. Dari Tabel 4.15 dapat dilihat semua bus memiliki nilai tegangan yang memenuhi standar sehingga tidak diperlukan perbaikan tegangan.

4.6 Data - Data Bus Hasil Simulasi Harmonisa dengan Konfigurasi Terintergrasi.

Analisis harmonisa di *plant* CPA JOB P-PEJ (Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java), Tuban konfigurasi Terintergrasi menggunakan ETAP 7.5. Setelah dilakukan *running harmonic load flow*, akan didapatkan nilai harmonisa arus dan harmonisa tegangan. Harmonisa arus diamati pada kabel yang berada diantara peralatan transformator dan beban sedangkan untuk harmonisa tegangan dilihat dari bus yang ingin kita amati.

4.6.1 Harmonisa Tegangan dengan Konfigurasi Belum Terintergrasi Dan Terintergrasi.

Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem saat konfigurasi terintergrasi. Dari hasil data terintergrasi akan dibandingkan dengan data belum terintergrasi. Sehingga dari kedua data tersebut akan diketahui berapa perbedaan harmonisa yang di hasilkan saat kedua konfigurasi tersebut tanpa filter. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter.

No	Nama Bus	V (kV)	Indeks THD _v		Selisih
			Belum terintergrasi	Terintergrasi	
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	5.14	2.14	3.00 ▼
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
3	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
4	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	3.14	2.78	0.36 ▼
5	BB MCC 4-1	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
6	BB MCC 4-2	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼

Tabel 4.16 Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Indeks THD _v		Selisih
			Belum terintergrasi	Terintergrasi	
7	BB MCC 4-3	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
8	BB MCC 4-4	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
9	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	8.38	0.35 ▼
10	BB MCC PAD C	0.48	9.55	9.12	0.42 ▼
11	BB-SP-A-1	4.16	3.12	2.14	0.98 ▼
12	BB-SP-B-1	4.16	3.12	2.14	0.98 ▼
13	B-IN TR-02-C	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
14	B-IN TR-MD-A	4.16	5.48	2.23	3.25 ▼
15	B-IN TR-MD-B	4.16	3.24	2.88	0.36 ▼
16	B-IN TR-MD-C	4.16	3.17	2.81	0.36 ▼
17	B-IN TR-MD-C1	13.8	4.22	3.83	0.39 ▼
18	B-IN TR-MD-E	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
19	B-OUT TR-02-C	4.16	2.30	1.60	0.70 ▼
20	B-OUT TR-30KVA	0.22	2.49	1.98	0.51 ▼
21	B-OUT TR-MD-B	13.8	5.03	4.64	0.39 ▼
22	B-OUT TR-MD-B1	0.48	7.53	7.17	0.36 ▼
23	B-OUT TR-MD-C1	0.48	8.80	8.41	0.38 ▼
24	B-OUT TR-MD-E	4.16	5.07	2.11	2.96 ▼
25	Bus327-1	4.16	3.13	2.14	0.99 ▼
26	Bus349-1	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
27	Bus357	4.16	3.05	1.88	1.17 ▼
28	Bus358	4.16	3.05	1.87	1.18 ▼
29	Bus359	4.16	2.31	2.11	0.20 ▼
30	Bus361	4.16	2.29	2.17	0.12 ▼
31	Bus368	0.48	7.78	3.72	4.05 ▼
32	Bus372	0.48	4.41	4.35	0.06 ▼
33	Bus-11.1	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
34	Bus-14-15	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼

Tabel 4.16 Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Indeks THD _v		Selisih
			Belum terintergrasi	Terintergrasi	
35	Bus-16-17'	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
36	Bus-19-20'	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
37	Bus-23-24'	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
38	Bus-25-26'	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
39	Bus SRU	0.48	8.73	8.38	0.35 ▼
40	LV-SWGR-01-3500A	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
41	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
42	LV-SWGR-02-B	0.48	2.49	1.98	0.51 ▼
43	MCC5.2	0.48	6.50	6.68	0.18 ▲
44	MCC PAD A	0.48	9.63	5.01	4.62 ▼
45	MCC WTR DSPSL	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
46	MV-SWGR-2-A	4.16	3.13	-	-
47	MV-SWGR-2-B	4.16	3.14	-	-
48	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
49	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	3.14	2.79	0.36 ▼
50	MV-SWGR-06-2500A	4.16	2.28	1.59	0.69 ▼
51	MV-SWGR-04 1250A	13.8	5.32	4.93	0.39 ▼
52	MV-SWGR-05 1250A	13.8	4.35	3.96	0.39 ▼
53	PROCESS PLANT	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
54	SRU BLOWER	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
55	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
56	SRU SOLUTION	0.48	3.24	1.33	1.91 ▼
57	WTR DISPOSAL	4.16	3.13	2.16	0.97 ▼

Dari data yang terdapat pada Tabel 4.16, terlihat perbandingan harmonisa yang ada di bus pada sistem kelistrikan *plant* CPA JOB P-PEJ antara konfigurasi belum terintergrasi dan terintergrasi.

Pada tabel selisih menunjukan perbedaan harmonisa antara konfigurasi Belum terintergrasi dengan Terintergrasi. Apabila pada tabel selisih menunjukan tanda ▼ maka itu menunjukan bahwa dari konfigurasi Terintergrasi memiliki penurunan nilai indeks THD_v dibandingkan konfigurasi Belum terintergrasi. Bila pada tabel selisih menunjukan tanda ▲ maka itu menunjukan bahwa dari konfigurasi Terintergrasi memiliki kenaikan nilai indeks THD_v dibandingkan konfigurasi Belum terintergrasi.

Tabel 4.17 Data Bus Konfigurasi Belum Terintergrasi dan Terintergrasi yang Merupakan Sumber Harmonisa.

No	Nama Bus	V (kV)	Indeks THD _v		Selisih
			Belum terintergrasi	Terintergrasi	
1	MCC PAD A	0.48	9.63	5.01	4.62 ▼
2	BB MCC PAD-B	0.48	8.73	8.38	0.35 ▼
3	BB MCC PAD C	0.48	9.55	9.12	0.42 ▼
4	MCC5.2	0.48	6.50	6.68	0.18 ▲

Pada Tabel 4.17 menunjukan perbandingan nilai indeks THD_v bus sumber harmonisa antara konfigurasi Belum terintergrasi dan Terintergrasi. Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan konfigurasi Terintergrasi bus MCC pad A, pad B, pad C mengalami penurunan nilai THD_v bila dibandingkan dengan konfigurasi Belum terintergrasi. Penurunan terbesar terjadi pada MCC pad A, yaitu nilai THD_v turun 5.01. Akan tetapi penurunan tersebut belum membuat MCC pad A serta bus yang lain menjadi memenuhi standar nilai harmonisa yang ditentukan, yaitu THD_v < 5%.

4.6.2 Harmonisa Arus dengan Konfigurasi Terintergrasi.

Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Tanpa Filter.

Nama Trafo	Nama Kabel	Isc (kA)	IL (A)	Isc/IL	Standar THD _i	THD _i (%)
T-CENT 2	Cable 144	12.0	360	33.33	8	1.19
TR-02-B	P - 021	9.7	108.2	89.64	12	9.71

Tabel 4.18 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Tanpa Filter (lanjutan).

Nama Trafo	Nama Kabel	Isc (kA)	IL (A)	Isc/IL	Standar THD ₁	THD ₁ (%)
TR-02-C	Cable 146	12.0	360	33.33	8	2.36
TR-MCC5	Wtr Dspsl	23.6	638.9	36.93	8	38.50
TR-MD-A	Pad A	23.6	391.1	60.34	12	44.71
TR-MD-B1	Pad B	26.6	935.7	28.42	8	37.91
TR-MD-C1	Pad C	15.1	493.6	30.59	8	39.60
TR-MD E .	Cable H-018	11.8	122.2	96.56	12	3.25

Berdasarkan Tabel 4.18, terdapat 4 titik harmonisa arus yang memiliki tingkat distorsi yang melebihi standar IEEE Std. 519-1992.

Tabel 4.19 Data Perbandingan Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Belum terintergrasi dan Terintergrasi Tanpa Filter.

Nama Trafo	Nama Kabel	Belum terintergrasi		Terintergrasi	
		Standar THD ₁	THD ₁ (%)	Standar THD ₁	THD ₁ (%)
T-CENT 2	Cable 144	8	4.92	8	1.19
TR-02-B	P - 021	12	3.42	12	9.71
TR-02-C	Cable 146	8	4.92	8	2.36
TR-MCC5	Wtr Dspsl	8	38.96	8	38.50
TR-MD-A	Pad A	8	45.19	12	44.71
TR-MD-B1	Pad B	8	37.38	8	37.91
TR-MD-C1	Pad C	8	39.64	8	39.60
TR-MD E .	Cable H-018	12	45.19	12	3.25

Berdasarkan Tabel 4.19, terlihat bahwa ada perubahan nilai standar THD₁ dan perubahan nilai THD₁. Pada bus Pad A mengalami kenaikan Isc sehingga menyebabkan kenaikan level standar THD₁ yang nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 8 sekarang saat Terintergrasi menjadi 12. Sedangkan untuk perubahan nilai THD₁ yang besar ada pada kabel P-021 dan Kabel cable H-018. Pada kabel P-021 memiliki nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 3.42 sekarang saat Terintergrasi menjadi 9.71 tetapi nilai tersebut tetap sesuai dengan standar THD₁ yang

ada. Sedangkan Pada kabel cable H-018 memiliki nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 45.19 sekarang saat Terintergrasi menjadi 3.25. perubahan nilai tersebut merubah status kabel menjadi sesuai dengan standar THD_I.

4.7 Spesifikasi Filter Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi.

Untuk mengatasi harmonisa yang timbul pada konfigurasi Terintergrasi, tidak menggunakan desain perhitungan filter baru lagi, akan tetapi menggunakan desain filter dari konfigurasi *plant* CPA JOB P-PEJ.

4.7.1 Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Tegangan Pada Konfigurasi Terintergrasi.

Melakukan simulasi dengan konfigurasi terintergrasi dengan menggunakan desain filter dari konfigurasi Belum terintergrasi. Filter yang akan digunakan adalah semua filter MCC pad A, pad B, pad C dan MCC5.2 .

Tabel 4.20 Data Perbandingan THD_V Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Terintergrasi .

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD _V (%)
1	2500A-MV-SWGR-02-B	4.16	2.14	0.69	5
2	ARTIFICIAL BUS	4.16	2.79	0.94	5
3	BB_TR-02-A=>MV-SWGR-03	4.16	2.79	0.94	5
4	BB_TR-02-B=>MV-SWGR-03	4.16	2.78	0.94	5
5	BB MCC 4-1	0.48	1.98	0.74	5
6	BB MCC 4-2	0.48	1.98	0.74	5
7	BB MCC 4-3	0.48	1.98	0.74	5
8	BB MCC 4-4	0.48	1.98	0.74	5
9	BB MCC PAD-B	0.48	8.38	2.50	5
10	BB MCC PAD C	0.48	9.12	2.84	5
11	BB-SP-A	4.16	2.14	0.69	5
12	BB-SP-B	4.16	2.14	0.69	5
13	B-IN TR-02-C	4.16	2.79	0.94	5
14	B-IN TR-MD-A	4.16	2.23	0.70	5

Tabel 4.20 Data Perbandingan THD_v Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Terintergrasi (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD _v (%)
15	B-IN TR-MD-B	4.16	2.88	0.97	5
16	B-IN TR-MD-C	4.16	2.81	0.95	5
17	B-IN TR-MD-C1	13.8	3.83	1.27	5
18	B-IN TR-MD-E	0.48	1.33	0.42	5
19	B-OUT TR-02-C	4.16	1.60	0.52	5
20	B-OUT TR-30KVA	0.22	1.98	0.74	5
21	B-OUT TR-MD-B	13.8	4.64	1.48	5
22	B-OUT TR-MD-B1	0.48	7.17	2.18	5
23	B-OUT TR-MD-C1	0.48	8.41	2.65	5
24	B-OUT TR-MD-E	4.16	2.11	0.68	5
25	Bus327	4.16	2.14	0.69	5
26	Bus349	4.16	2.79	0.94	5
27	Bus357	4.16	1.88	0.61	5
28	Bus358	4.16	1.87	0.61	5
29	Bus359	4.16	2.11	0.68	5
30	Bus360	4.16	2.14	0.69	5
31	Bus361	4.16	2.17	0.71	5
32	Bus363	0.48	3.72	1.13	5
33	Bus364	0.48	4.35	0.94	5
34	Bus-11.1	0.48	1.33	0.42	5
35	Bus-14-15	0.48	1.98	0.74	5
36	Bus-16-17'	0.48	1.98	0.74	5
37	Bus-19-20'	0.48	1.98	0.74	5
38	Bus-23-24'	0.48	1.98	0.74	5
39	Bus-25-26'	0.48	1.98	0.74	5
40	Bus SRU	0.48	8.38	2.50	5
41	LV-SWGR-01-3500A	0.48	1.33	0.42	5
42	LV-SWGR-02-BB-"A"-5000A	0.48	1.98	0.74	5
43	LV-SWGR-02-B	0.48	1.98	0.74	5

Tabel 4.20 Data Perbandingan THD_V Di Semua Bus Sebelum Dan Setelah Penggunaan Filter Harmonisa Pasif Pada Kondisi Terintergrasi (lanjutan).

No	Nama Bus	V (kV)	Sebelum difilter	Sesudah difilter	Standard THD_V (%)
44	MCC5.2	0.48	6.68	1.34	5
45	MCC PAD A	0.48	5.01	1.50	5
46	MCC WTR DSPSL	0.48	1.33	0.42	5
47	MV-SWGR-03-BB-"A"-2500A.	4.16	2.79	0.94	5
48	MV-SWGR-03-BB-"B"-2500A	4.16	2.79	0.94	5
49	MV-SWGR-06-2500A	4.16	1.59	0.51	5
50	MV-SWGR-04 1250A	13.8	4.93	1.56	5
51	MV-SWGR-05 1250A	13.8	3.96	1.31	5
52	PROCESS PLANT	0.48	1.33	0.42	5
53	SRU BLOWER	0.48	1.33	0.42	5
54	SRU FILTER PRES/ETC	0.48	1.33	0.42	5
55	SRU SOLUTION	0.48	1.33	0.42	5
56	WTR DISPOSAL	4.16	2.16	0.70	5

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa filter yang didesain untuk konfigurasi Belum terintergrasi dapat digunakan juga untuk meredam harmonisa tegangan pada konfigurasi Terintergrasi juga pada sistem kelistrikan *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java*), Tuban.

4.7.2 Pengaruh Pemasangan Filter Harmonisa Pasif Terhadap Harmonisa Arus.

Berikut ini adalah data-data hasil simulasi harmonisa yang dilakukan pada sistem setelah dipasang filter. Data tersebut tertuang pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Setelah Pemasangan Filter pasif.

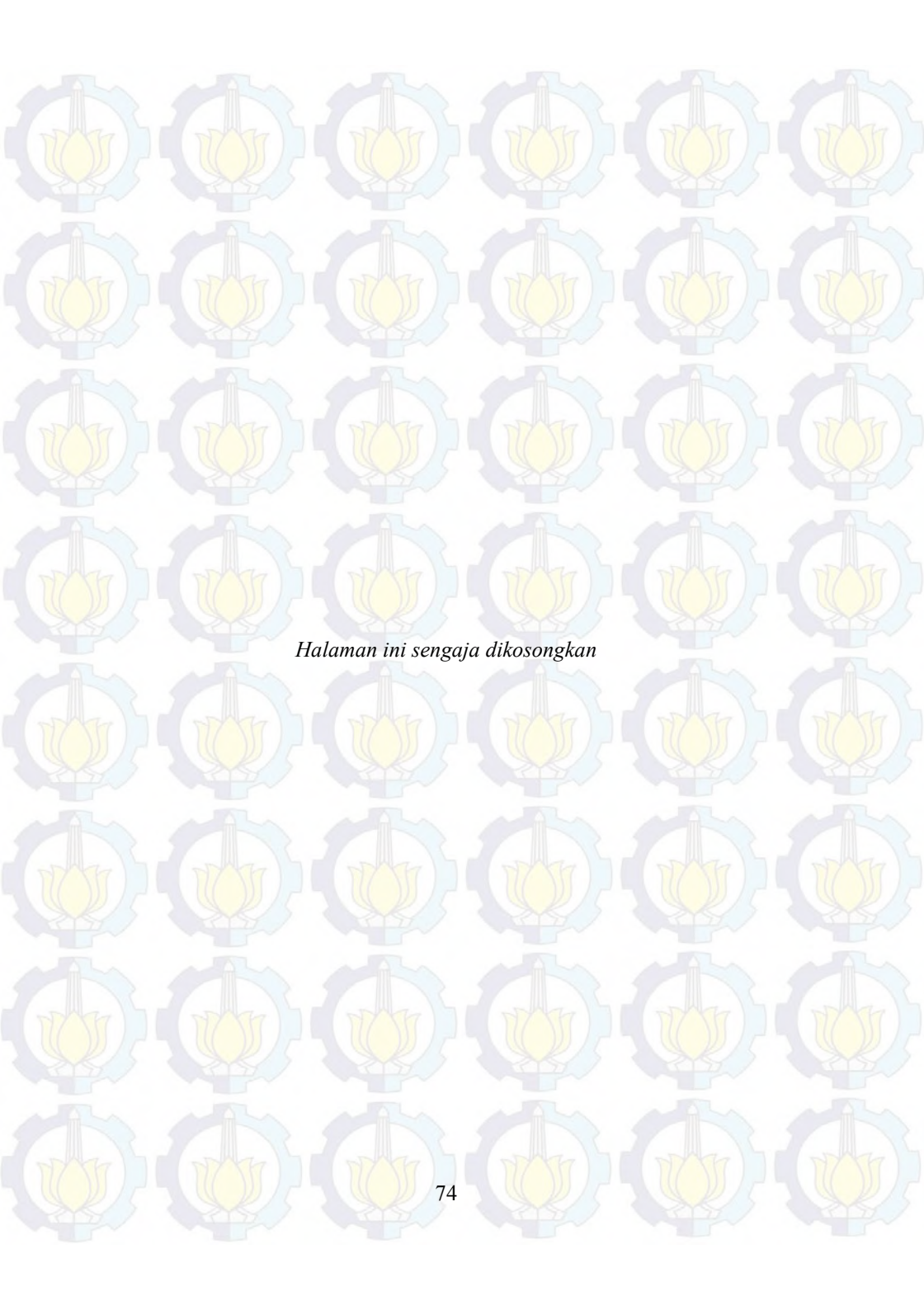
Nama Trafo	Nama Kabel	Standar THD_I	Sebelum difilter	Sesudah difilter
T-CENT 2	Cable 144	8	1.19	0.30

Tabel 4.21 Data Hasil Simulasi Harmonisa Pada Konfigurasi Terintergrasi Setelah Pemasangan Filter pasif (lanjutan).

Nama Trafo	Nama Kabel	Standar THD ₁	Sebelum difilter	Sesudah difilter
TR-02-B	P - 021	12	9.71	1.45
TR-02-C	Cable 146	8	2.36	0.27
TR-MCC5	Wtr Dspsl	8	38.50	5.14
TR-MD-A	Pad A	12	44.71	9.70
TR-MD-B1	Pad B	8	37.91	5.71
TR-MD-C1	Pad C	8	39.60	5.97
TR-MD E .	Cable H-018	12	3.25	1.42

Berdasarkan Tabel 4.21, harmonisa arus yang memiliki tingkat distorsi yang melebihi standar IEEE Std. 519-1992 sudah bisa diturunkan tingkat harmonisnya dengan pemasangan filter pasif.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa filter yang didesain untuk konfigurasi Belum terintergrasi dapat digunakan juga untuk meredam harmonisa tegangan pada konfigurasi Terintergrasi juga pada sistem kelistrikan *plant* CPA JOB P-PEJ (*Central Processing Area Joint Operating Body Pertamina – Petrochina East Java*), Tuban.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Desain filter yang dibuat sudah mampu meredam harmonisa yang timbul, terlihat dari nilai THD_V dan THD_I pada bus sumber harmonisa saat konfigurasi belum terintergrasi setelah difilter memiliki nilai harmonisa yang memenuhi standar IEEE Std. 519-1992. Setelah difilter THD_V bus MCC PAD A menjadi 2.03, THD_V bus MCC PAD C menjadi 2.82, THD_V bus MCC PAD B menjadi 2.51, THD_V bus MCC5.2 menjadi 1.49.
2. Desain filter harmonisa yang dilakukan saat konfigurasi belum terintergrasi memiliki kemampuan untuk meredam harmonisa saat konfigurasi terintergrasi juga. Sehingga bus sumber harmonisa saat konfigurasi terintergrasi setelah difilter memiliki nilai harmonisa yang memenuhi standar IEEE Std. 519-1992. Setelah difilter THD_V bus MCC PAD A menjadi 1.50, THD_V bus MCC PAD C menjadi 2.84, THD_V bus MCC PAD B menjadi 2.50, THD_V bus MCC5.2 menjadi 1.34.
3. Secara garis besar, dapat dikatakan bahwa nilai THD_V konfigurasi belum terintergrasi lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi terintergrasi dapat dilihat di Tabel 4.16. Penurunan nilai harmonisa berkisar antara 0.06 – 5.01 *point*. Efek penurunan tersebut merubah status bus 2500A-MV-SWGR-02-B, bus B-IN TR-MD-A, bus B-OUT TR-MD-B, bus B-OUT TR-MD-E, bus Bus368, bus MV-SWGR-04 1250A dari sebelumnya tidak memenuhi standar IEEE Std. 519-1992 menjadi memenuhi standar IEEE Std. 519-1992.
4. Dalam analisa harmonisa, perbedaan yang paling berpengaruh terjadi saat konfigurasi belum terintergrasi dan terintergrasi terdapat pada bus Pad A yang mengalami kenaikan I_{sc} . Hal itu menyebabkan kenaikan level standar THD_I yang nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 8 sekarang saat Terintergrasi menjadi 12.
5. Perubahan nilai THD_I yang besar ada pada kabel P-021 dan Kabel cable H-018. Pada kabel P-021 memiliki nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 3.42 sekarang saat Terintergrasi menjadi 9.71 tetapi nilai tersebut tetap sesuai dengan standar THD_I yang ada. Sedangkan Pada kabel cable H-018 memiliki nilai awal saat Belum terintergrasi adalah 45.19 sekarang saat Terintergrasi menjadi 3.25.

perubahan nilai tersebut merubah status kabel menjadi sesuai dengan standar THD_i .

6. Dalam proses menurunkan THD ternyata hal yang perlu diperhatikan ialah orde-orde harmonik pada bus (untuk THD_v) dan juga pada kabel suplai ke bus (untuk THD_i). Apabila hanya berfokus pada bus saja, belum tentu THD_i akan ikut turun juga.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan perbaikan penelitian tentang peredaman harmonisa di sistem kelistrikan industri, penulis menyarankan untuk kedepannya adalah sebagai berikut :

1. Bagi mahasiswa yang akan meneliti tentang pemasangan filter harmonisa, Tugas Akhir ini bisa digunakan sebagai pembanding karena pada Tugas Akhir ini hanya menggunakan filter pasif berjenis *single-tuned*.

LAMPIRAN

no	Nama	Orde	Nilai (%)
1	MCC5.2	H1	100%
		H2	3.370%
		H3	3.361%
		H4	2.326%
		H5	67.935%
		H6	1.717%
		H7	44.814%
		H8	0.939%
		H9	1.194%
		H10	0.668%
		H11	13.273%
		H12	0.647%
		H13	8.549%
		H14	0.548%
		H15	0.496%
		H16	0.513%
		H17	5.328%
		H18	0.443%
		H19	4.476%
		H20	0.462%
		H21	0.444%
		H22	0.317%
		H23	2.640%
		H24	0.302%
		H25	2.061%
		THD I Avarage	83.539%

no	Nama	Orde	Nilai (%)
2	Pad A kanan	H1	100%
		H2	1.510%
		H3	4.466%
		H4	0.901%
		H5	35.177%
		H6	0.747%
		H7	14.981%
		H8	0.472%
		H9	0.716%
		H10	0.430%
		H11	10.133%
		H12	0.407%
		H13	5.485%
		H14	0.292%
		H15	0.330%
		H16	0.270%
		H17	4.306%
		H18	0.272%
		H19	2.849%
		H20	0.207%
		H21	0.206%
		H22	0.180%
		H23	1.930%
		H24	0.199%
		H25	2.105%
		THD I Avarage	40.761%

no	Nama	Orde	Nilai (%)
3	Pad A kiri	H1	100%
		H2	4.637%
		H3	10.119%
		H4	2.773%
		H5	58.141%
		H6	2.279%
		H7	31.429%
		H8	1.271%
		H9	3.646%
		H10	1.009%
		H11	16.499%
		H12	1.200%
		H13	12.661%
		H14	0.796%
		H15	1.849%
		H16	0.635%
		H17	7.434%
		H18	0.803%
		H19	5.876%
		H20	0.557%
		H21	1.225%
		H22	0.442%
		H23	3.993%
		H24	0.543%
		H25	2.402%
		THD I Avarage	71.309%

no	Nama	Orde	Nilai (%)
4	Pad B	H1	100%
		H2	0.494%
		H3	2.085%
		H4	0.182%
		H5	27.010%
		H6	0.211%
		H7	9.752%
		H8	0.087%
		H9	0.374%
		H10	0.068%
		H11	3.599%
		H12	0.085%
		H13	3.456%
		H14	0.065%
		H15	0.255%
		H16	0.049%
		H17	1.853%
		H18	0.067%
		H19	2.094%
		H20	0.068%
		H21	0.258%
		H22	0.053%
		H23	0.608%
		H24	0.039%
		H25	0.280%
		THD I Avarage	29.375%

no	Nama	Orde	Nilai (%)
5	Pad C	H1	100%
		H2	1.347%
		H3	0.779%
		H4	0.676%
		H5	37.366%
		H6	0.592%
		H7	12.279%
		H8	0.340%
		H9	0.465%
		H10	0.258%
		H11	4.844%
		H12	0.271%
		H13	4.243%
		H14	0.202%
		H15	0.318%
		H16	0.166%
		H17	2.252%
		H18	0.183%
		H19	1.468%
		H20	0.135%
		H21	0.119%
		H22	0.130%
		H23	1.795%
		H24	0.149%
		H25	0.879%
		THD I Avarage	40.093%



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan